



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PELACAK CAHAYA MATAHARI BERBASIS CITRA PADA PANEL
SURYA MENGGUNAKAN *SINGLE BOARD COMPUTER*
LATTEPANDA**

Ferdyan Dannes Krisandika
NRP 07111440000025

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Tasripan, M.T.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TE 141599

**PELACAK CAHAYA MATAHARI BERBASIS CITRA PADA
PANEL SURYA MENGGUNAKAN *SINGLE BOARD*
*COMPUTER LATTEPANDA***

Ferdyan Dannes Krisandika
NRP 07111440000025

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Tasripan, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT - TE 141599

**SOLAR LIGHT TRACKING BASED ON IMAGE FOR
SOLAR CELL USING SINGLE BOARD COMPUTER
LATTEPANDA**

Ferdyan Dannes Krisandika
NRP 07111440000025

Advisor
Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Ir. Tasripan, M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "Pelacak Cahaya Matahari Berbasis Citra pada Panel Surya menggunakan *Single Board Computer* Lattepanda" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018



Ferdyan Dannes Krisandika
NRP. 07111440000025

**PELACAK CAHAYA MATAHARI BERBASIS
CITRA PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN
*SINGLE BOARD COMPUTER LATTEPANDA***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Elektronika
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.

NIP: 196904261994031003

Ir. Tasripan, M.T.

NIP: 196204181990031004



**SURABAYA
JULI, 2018**

PELACAK CAHAYA MATAHARI BERBASIS CITRA PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN SINGLE BOARD COMPUTER LATTEPANDA

Nama : Ferdyan Dannes Krisandika
Pembimbing 1 : Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T.
Pembimbing 2 : Ir. Tasripan, M.T.

ABSTRAK

Semakin berkurangnya sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, maka perlu memanfaatkan sumber energi yang dapat diperbaharui salah satunya energi matahari. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan menggunakan panel surya. Panel surya hanya mampu mengkonversi sekitar 15 persen dari total energi yang diterima untuk diubah menjadi energi listrik. Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan pelacakan posisi matahari. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sistem pelacakan posisi matahari yang berbasis pengolahan citra yang diimplementasikan pada panel surya 50 Watt. Proses ini meliputi konversi citra matahari kedalam bentuk *grayscale* dan *Gaussian blur* lalu dilakukan *threshold*, *morphology*, dan deteksi kontur untuk mengeliminasi noise. Deteksi lingkaran digunakan untuk mendeteksi posisi matahari pada layar. Proses *centeroid* dilakukan untuk mendapatkan posisi titik tengah dari matahari yang digunakan untuk mengontrol gerakan 2-axis pada motor DC. Agar gerakan motor lebih presisi maka dilakukan penambahan kontrol proporsional agar panel surya menghadap kearah matahari dengan tepat. Seluruh proses ini dilakukan dengan menggunakan *Single Board Computer Lattepanda*. Untuk mengetahui perbandingan penerimaan daya listrik panel surya dengan sistem pelacak dan panel surya statis maka dilakukan eksperimen pengukuran penerimaan daya. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa panel surya yang dilengkapi dengan sistem pelacak ini menghasilkan peningkatan penerimaan daya listrik yang diterima sebesar 6.97 % terhadap panel surya yang diletakkan secara statis.

Kata kunci : Posisi matahari, Panel surya, Pengolahan citra, *Single Board Computer Lattepanda*.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

SOLAR LIGHT TRACKING BASED ON IMAGE FOR SOLAR CELL USING SINGLE BOARD COMPUTER LATTEPANDA

Name : Ferdyan Dannes Krisandika
1st Advisor : Dr. Muhammad Rivai S.T., M.T.
2nd Advisor : Ir. Tasripan, M.T.

ABSTRACT

The less non-renewable energy source, it is necessary to use the renewable energy source one of them is solar energy. Solar energy can be used by solar cell, but it can not fully used. Solar cell can only convert about 15 percent of energy total that it can receive to be convert it into the electric source. One method that can increase efficiency of solar cell is by tracking the position of the sun. In this research had been designed and made the sun position tracker based on image which is implemented on 50 Watt solar cell. This process includes convert sun images into the grayscale image and gaussian blur then threshold, morphology and contour detection to eliminate the noise. Hough circle transform is used to detect the sun position on the screen. The centeroid process is used to get the midpoint position of the sun which is used to 2-axis motion control on DC motor. In order to make the motion more precise, proportional control is used to solar panels facing the sun precisely. All of this process is done by Single Board Computer Lattepanada. To know the energy comparison between solar cell with tracking and fixed position solar cell, then it is done by doing the measurement of solar cell energy. This experiment result show that with this tracking system can increase the power of solar cell about 6.97 percent against fixed position solar cell.

Keywords : Sun position, Solar cell, Image processing, Single Board Computer Lattepanada.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat yang telah diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas berkat, karunia dan anugerah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Selama proses penelitian Tugas Akhir ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik dukungan secara moril maupun materiil. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan Terima kasih sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu dan mendukung dalam tugas akhir ini, diantaranya :

1. Dr. Muhammad Rivai, S.T., M.T., dan Ir. Tasripan, M.T. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, inspirasi, pengarahan, dan motivasi yang diberikan selama pengerjaan penelitian tugas akhir ini.
2. Ir. Dr. Hendra Kusuma, M.Eng.Sc., Ir. Totok Mujiono, M.IKom., Dr.Eng., Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Muhammad Attamimi, B.Eng, M.Eng, PhD. selaku dosen penguji yang memberikan banyak masukan dan pengarahan sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan baik.
3. Kedua orang tua serta kakak dan adik saya, yang tidak pernah putus untuk selalu memberi dukungan, doa, nasihat, motivasi, dan bantuin dalam berbagai hal.
4. Teman-teman Laboratorium Elektronika Industri B402 dan Elektronika Dasar B202 yang senantiasa membantu dan mendukung dalam pengerjaan tugas akhir.

Penulis sadar bahwa Tugas Akhir ini masih belum sempurna dan masih banyak hal yang perlu diperbaiki. Saran, kritik dan masukan baik dari semua pihak sangat membantu penulis terutama untuk berbagai kemungkinan pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2018

Ferdyan Dannes Krisandika
NRP. 07111440000025

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
1.7. Relevansi	5
BAB II TEORI PENUNJANG.....	7
2.1 Panel Surya	7
2.1.1 Semikonduktor dan Sel Surya	7
2.1.2 Proses Konversi Panel Surya.....	7
2.2. Pengolahan citra	12
2.2.1. Grayscale	12
2.2.2. Histogram	13
2.2.3. Threshold.....	15
2.2.4. Gaussian Blur	16
2.2.5. Morphology	17
2.2.6 Canny Edge	19
2.2.7. Contour.....	20
2.2.8. Hough Circle Transform.....	21
2.3. Kamera Web	23
2.4. Single Board Computer Lattepanda.....	23
2.5. RTC DS1307	25
2.6. Motor DC.....	29
2.7. Kontrol PID	31
2.8 Filter Neutral Density.....	32
2.9 Filter Ultraviolet.....	33
BAB III PERANCANGAN SISTEM	35
3.1 Diagram Blok Sistem.....	36
3.2 Perancangan Perangkat Keras.....	38
3.2.1 Buck Converter	38

3.2.2 H-bridge Motor Driver	39
3.2.3 Filter Neutral Density.....	40
3.2.4 Filter UV	41
3.2.5 Motor DC	41
3.2.6 Kontroller Aki	41
3.2.7 Aki	42
3.2.8 Real Time Clock DS1307	42
3.2.9 Lattepanda.....	43
3.3 Perancangan Mekanik Pelacak Cahaya Matahari.....	44
3.3.1 Perhitungan Kekuatan Motor	44
3.3.2 Perhitungan Ratio Gigi.....	45
3.3.3 Desain Rangka Pelacak Cahaya Matahari.....	46
3.3.4 Desain Penempatan Filter Cahaya	50
3.4 Perancangan Perangkat Lunak	51
3.4.1 Perangkat Lunak Pengolahan Citra	51
3.4.2 Perangkat Lunak Pengendali Motor.....	59
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM.....	63
4.1 Realisasi Desain Pelacak Cahaya Matahari.....	63
4.2 Pengujian Hardware	65
4.2.1 Pengujian Motor DC	65
4.2.2 Pengujian Filter Cahaya	66
4.2.2.1 Pengujian Filter UV	67
4.2.2.2 Pengujian Filter ND.....	68
4.2.3 Pengukuran Konsumsi Daya Sistem Keseluruhan.....	69
4.3 Pengujian Pengolahan Citra	69
4.3.1 Pengujian Nilai <i>Threshold</i>	69
4.3.2 Pengujian Parameter <i>Hough Circle Transform</i>	72
4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem	74
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	87
BIODATA PENULIS	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung	8
Gambar 2.2 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor	8
Gambar 2.3 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor	9
Gambar 2.4 Sambungan semikonduktor terkena cahaya matahari.....	10
Gambar 2.5 Semikonduktor setelah ditembus cahaya matahari.....	11
Gambar 2.6 Kabel dari sambungan semikonduktor	11
Gambar 2.7 Contoh grayscale pada suatu gambar	13
Gambar 2.8 Hasil Histogram.....	14
Gambar 2.9 Contoh threshold binary pada suatu gambar	15
Gambar 2.10 Contoh Gaussian blur pada suatu gambar	17
Gambar 2.11 Contoh morphology opening pada suatu gambar	19
Gambar 2.12 Perbedaan metode deteksi <i>contour</i>	21
Gambar 2.13 Webcam Havit V622	23
Gambar 2.14 Bentuk board Lattepanda.....	25
Gambar 2.15 Proses sinyal start dan stop pada SDA dan SCL	26
Gambar 2.16 Pengalamatan pada DS1307	28
Gambar 2.17 Data write pada DS1307	28
Gambar 2.18 Data read pada DS1307	29
Gambar 2.19 Struktur dari motor DC.....	29
Gambar 2.20 Arah putar motor DC.....	30
Gambar 2.21 Closed loop PID	31
Gambar 2.22 Panjang gelombang sinar UV dan IR	33
Gambar 3.1 Rancangan sistem yang akan diterapkan.....	35
Gambar 3.2 Blok diagram sistem pelacak cahaya matahari.....	36
Gambar 3.3 Rangkaian buck converter	38
Gambar 3.4 Rangkaian H-bridge driver motor	39
Gambar 3.5 Board PCB H-bridge driver motor	40
Gambar 3.6 Filter ND 16 (kiri) dan Filter ND 8 (kanan)	40
Gambar 3.7 Filter UV yang digunakan	41
Gambar 3.8 Diagram blok kontroler aki	42
Gambar 3.9 Modul RTC DS1307 beserta pinout	42
Gambar 3.10 Wiring pada Lattepanda	43
Gambar 3.11 Gear bor.....	45
Gambar 3.12 Rangka dasar utama	46
Gambar 3.13 Tiang utama yang terpasang pada rangka utama	47

Gambar 3.14 Desain penempatan gear dan motor	47
Gambar 3.15 Rangka pergerakan sumbu X	48
Gambar 3.16 Rangka pergerakan sumbu Y	48
Gambar 3.17 Penempatan kamera pada rangka sumbu Y	49
Gambar 3.18 Hasil akhir rangka keseluruhan	50
Gambar 3.19 Perencanaan penempatan filter	50
Gambar 3.20 Input gambar yang akan diproses	51
Gambar 3.21 Hasil konversi <i>grayscale</i>	52
Gambar 3.22 Hasil proses <i>gaussian blur</i>	52
Gambar 3.23 Hasil proses <i>threshold</i>	53
Gambar 3.24 Hasil proses <i>morphology opening</i>	54
Gambar 3.25 Hasil proses <i>contour</i>	55
Gambar 3.26 Hasil proses <i>canny edge detection</i>	55
Gambar 3.27 Hasil proses <i>hough circle transform</i>	56
Gambar 3.28 Hasil proses <i>moment</i>	57
Gambar 3.29 Flowchart pengolahan Citra	58
Gambar 3.30 Blok diagram kontrol proporsional sumbu X	59
Gambar 3.31 Blok diagram kontrol proporsional sumbu X	60
Gambar 3.32 Flowchart pengendali motor	61
Gambar 4.1 Pelacak cahaya matahari yang diterapkan	63
Gambar 4.2 Realisasi keseluruhan	64
Gambar 4.3 Realisasi untuk pergerakan sumbu X	64
Gambar 4.4 Realisasi untuk pergerakan sumbu Y	65
Gambar 4.5 Penempatan filter cahaya pada kamera	66
Gambar 4.6 Hasil tangkapan gambar matahari tanpa filter	67
Gambar 4.7 Hasil pengujian filter UV (a) tanpa filter UV (b) dengan filter UV	68
Gambar 4.8 Hasil pengujian filter ND (a) tanpa filter ND (b) dengan filter ND	68
Gambar 4.9 Contoh sampel gambar matahari	71
Gambar 4.10 Histogram untuk pemilihan nilai threshold	71
Gambar 4.11 Hasil threshold	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel kalkulasi histogram.....	14
Tabel 2.2 Tabel spesifikasi Arduino Leonardo.....	25
Tabel 2.3 Address Write DS1307.....	27
Tabel 2.4 Tabel pengaruh P I dan D terhadap sistem.....	31
Tabel 2.5 Tabel angka filter ND.....	33
Tabel 3.1 Wiring Arduino Leonardo.....	44
Tabel 4.1 Kecepatan motor arah searah jarum jam.....	66
Tabel 4.2 Kecepatan motor arah berlawanan jarum jam.....	66
Tabel 4.3 Konsumsi daya tiap <i>hardware</i>	69
Tabel 4.4 Waktu dan cuaca pengambilan sampel.....	70
Tabel 4.5 Pemilihan parameter pertama.....	72
Tabel 4.6 Pemilihan parameter kedua.....	72
Tabel 4.7 Pemilihan parameter ketiga.....	73
Tabel 4.8 Hasil pemilihan parameter.....	74
Tabel 4.9 Pengujian penerimaan pertama.....	74
Tabel 4.10 Pengujian penerimaan kedua.....	75
Tabel 4.11 Pengujian penerimaan ketiga.....	75
Tabel 4.12 Pengujian penerimaan keempat.....	76
Tabel 4.13 Pengujian penerimaan kelima.....	77
Tabel 4.14 Hasil penerimaan total lux.....	77
Tabel 4.15 Hasil penerimaan daya panel surya statis.....	78
Tabel 4.16 Hasil penerimaan daya panel surya dengan sistem pelacak.....	79

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkurangnya dan menipisnya pasokan energi yang tidak terbarukan seperti sumber energi yang berasal dari fosil, pada masa kini mendorong para ilmuwan untuk mengembangkan pemanfaatan sumber energi yang dapat dimanfaatkan secara terus menerus dan tidak pernah habis. Pemanfaatan energi baru dan terbarukan (EBT) di Indonesia sangatlah kecil, sekitar 12 persen. Menurut PLN seperti dikutip mongabay.co.id, potensi EBT di Indonesia mencapai 443 gigawatt (GW). Potensi energy tersebut meliputi energi bayu 207.898 MW, hidro 94.476 MW, matahari 60.647 MW, bioenergy 32.654 MW, panas bumi 29.554 MW, dan laut 17.989 MW.

Salah satu EBT yang cocok digunakan di Indonesia yaitu energi matahari, karena Indonesia merupakan negara tropis yang sangat luas, maka energi matahari sangat cocok digunakan di Indonesia dan menurut kementrian ESDM potensi energi matahari di Indonesia sangat besar yakni sekitar 4.8 KWh/m² setara 112.000 GWp, namun yang baru dimanfaatkan hanya 10 MWp. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi yang tidak akan pernah habis dan dengan energi matahari ini kita dapat memperoleh energi listrik tanpa perlu membakar bahan fosil seperti minyak, bensin, dan gas. Komponen utama dari pemanfaatan energi matahari yaitu dengan menggunakan panel surya, energi matahari dapat dengan mudah dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. Dengan adanya penemuan panel surya, energi matahari menjadi sumber utama yang paling *power-full* [1] dari energi terbarukan apabila dibandingkan dengan energi angin yang juga energi terbarukan [2]. Pada pemakaian solar panel yang ditempatkan secara horizontal pada tanah, cahaya yang mampu diserap oleh solar panel tidak dapat maksimal, dan juga efisiensi penggunaan solar panel hanya sekitar 15 % bergantung pada cahaya yang diserap oleh solar panel.

Oleh karena itu panel surya membutuhkan pelacak sinar matahari yang cukup akurat untuk meningkatkan efisiensi dari solar panel [3]. Pada penelitian kali ini dilakukan pelacak sinar matahari berbasis kamera, agar sudut antara sinar matahari dengan panel surya berada pada sudut yang pas sehingga penerimaan cahaya dapat terserap secara maksimal. Perkembangan pada autotracking solar cell ini cukuplah luas dan cukup

sering digunakan, solusi yang pernah ditawarkan yaitu autotracking panel surya menggunakan sensor photodiode dan phototransistor, sensor ini akan memperkirakan posisi matahari berdasarkan intensitas cahaya yang diterima oleh photodiode atau phototransistor [4]. Kelemahan dari penggunaan photodiode dan phototransistor ini yaitu memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap kondisi cuaca terutama pada suhu dan kelembapan yang berubah secara cepat pada kondisi yang cukup ekstrim [5] [6] [7]. Apabila menggunakan photodiode atau phototransistor sebagai penentu lokasi dimana matahari berada, maka hal tersebut dirasa kurang akurat karena sistem hanya memperkirakan dimana posisi matahari, sedangkan apabila menggunakan kamera sebagai penentu posisi matahari maka hasil yang didapat yaitu benar-benar posisi titik tengah dari matahari yang terdeteksi oleh kamera, sehingga penggunaan kamera sebagai penentu posisi matahari menghasilkan arah pancaran matahari yang lebih akurat. Selain itu terdapat pula solar panel yang bergerak berdasarkan waktu, dimana pada metode ini kurang akurat, dikarenakan posisi matahari tidak selalu sama setiap hari dijam yang sama.

Mekanisme autotracking pada penelitian ini yaitu mengikuti matahari dengan akurasi yang cukup baik. Karena posisi matahari merupakan hal yang sangat krusial pada panel surya untuk menerima pancaran sinar matahari [8]. Sehingga dengan mekanisme tracking ini mampu meningkatkan jumlah energi cahaya yang mampu diterima oleh solar cell yang menghasilkan power lebih baik [9]. Pada penelitian ini dipakailah kamera webcam sebagai perangkat utama untuk menentukan posisi matahari. Kelebihan dari penggunaan. Proses penentuan posisi matahari dilakukan dengan menggunakan LattePanda, LattePanda merupakan mini pc dengan built-in Arduino, sehingga dengan alat ini sistem mampu melakukan pengolahan citra dengan cepat.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah antara lain:

1. Bagaimana sistem mampu mengenali matahari.
2. Bagaimana menentukan posisi matahari.
3. Bagaimana mengarahkan panel surya.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian pada penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan metode threshold dan hough circle transform.
2. Menentukan posisi matahari dari titik paling terang pada langit.
3. Penggunaan kontrol P 2-axis untuk mengarahkan titik matahari.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Panel surya yang digunakan 50 Watt.
2. Pemrograman dilakukan dengan menggunakan bahasa c++ dan library opencv

1.5. Metodologi Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian ini digunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur Metode Pelacakan Cahaya Matahari
Tahap ini meliputi pengumpulan dasar teori yang dapat menjadi acuan penelitian. Dasar teori akan diambil dari buku-buku, jurnal yang telah dipublikasi, *proceeding* dan artikel dari internet mengenai pelacakan matahari. Dilakukan pencarian acuan yang berhubungan dengan metode pelacakan cahaya matahari.
2. Perancangan Mekanik Sistem Pelacak Cahaya Matahari
Setelah dilakukan studi literature maka dilakukan perancangan mekanik pada sistem pelacak matahari. Pada tahap ini dilakukan perancangan mekanik dari sistem pelacak matahari. Tahap yang dilakukan meliputi:
 1. Desain hardware berupa penempatan motor DC
 2. Desain penempatan kamera
 3. Desain rangka untuk sel surya
 4. Perhitungan rasio gigi agar didapatkan perputaran motor yang presisi terhadap cahaya matahari
3. Perancangan Sistem *Software* Pelacak Cahaya Matahari
Pada tahap ini dilakukan perancangan dan pembuatan *software* pelacakan matahari. *Software* ini akan memproses gambar yang diambil dari kamera untuk menentukan posisi matahari. Dimulai dengan menangkap gambar matahari pada langit maka *software* akan mengkonversi gambar menjadi bentuk *grayscale*, fungsi dari mengkonversi gambar menjadi *grayscale* agar gambar dapat diproses dengan cepat, lalu dicari nilai *threshold* yang tepat supaya dapat menentukan mana objek dan mana background setelah itu dilakukan Hough Circle Transform untuk dapat memperkirakan dimana letak

dari matahari, setelah didapatkan letak matahari berupa sudut x dan y , nilai x dan y ini akan dikirimkan menuju Arduino dengan menggunakan komunikasi serial, pada Arduino ini dilakukan pula pemrograman kontrol PID, pemrograman PID untuk gerak motor.

4. Pengujian PID untuk Motor Pelacak Cahaya Matahari

Tahap ini dilakukan pengujian PID untuk motor, dimana nilai PID akan didapatkan dari *trial and error* pengujian, sehingga akan didapatkan nilai PID yang ideal

5. Implementasi Mikrokontroller pada Sistem

Pada tahap ini setelah dilakukan segala perancangan diatas, maka berikutnya dilakukan implementasi pada mikrokontroller/mini pc lattepanda sehingga didapatkan hasil pengujian yang sebenarnya. Kelebihan menggunakan lattepanda yaitu pengolahan citra dapat dilakukan dengan cepat untuk melakukan pengolahan citra.

6. Penulisan Laporan

Setelah dilakukan segala percobaan dan pengambilan data, maka akan dilakukan penulisan laporan penelitian berdasarkan hasil pengujian.

7. Penulisan Paper POMITS

Bagian ini akan dilakukan penyusunan paper POMITS dari hasil akhir laporan yang sudah dibuat.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini terdiri dari lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

- Bab 1 : Pendahuluan
Bab ini meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan penelitian, dan relevansi.
- Bab 2 : Dasar Teori
Bab ini menjelaskan tentang dasar teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan penelitian ini meliputi dasar teori dari pengolahan citra yang dibutuhkan, *Single Board Computer*, komunikasi serial.
- Bab 3 : Perancangan Alat
Bab ini menjelaskan perencanaan dari sistem yang meliputi *hardware*, mekanik, dan *software* untuk mencapai tujuan yang diharapkan dari penelitian ini.
- Bab 4 : Pengujian Alat

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapat dari sistem serta hasil evaluasi dari sistem tersebut.

- **Bab 5 : Penutup**

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang meliputi kekurangan-kekurangan pada kerja alat dari hasil yang telah didapatkan serta saran pengembangan untuk ke depan.

1.7. Relevansi

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sel surya dari pada penempatan secara *tetap*.
2. Dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sel surya pada kondisi yang minim cahaya matahari.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Panel Surya

Panel surya merupakan komponen utama pada sumber energi listrik yang berasal dari matahari yaitu dengan merubah energi matahari menjadi energi listrik dengan semikonduktor yang terdapat pada permukaan panel surya tersebut. Ukuran dari panel surya bervariasi mulai dari 20W hingga 250W dengan efisiensi sekitar 15 % tergantung pada jenis panel surya yang digunakan.

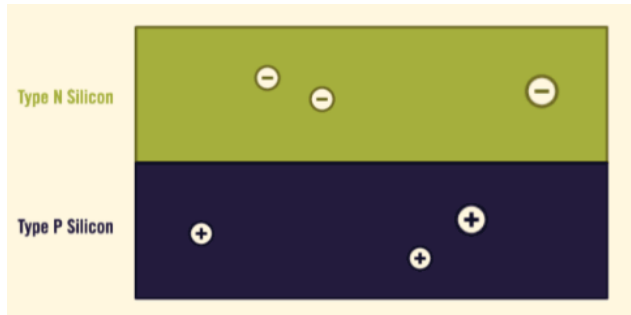
2.1.1 Semikonduktor dan Sel Surya

Semikonduktor merupakan elemen yang memiliki kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. Panel surya merupakan sebuah perangkat yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip photovoltaic, yaitu adanya energi yang berasal dari cahaya akan mengeksitasi sebagian elektron pada suatu material ke pita energi. Efek tersebut dapat timbul pada semikonduktor listrik yang memiliki konduktivitas menengah dikarenakan elektron memiliki sifat material yang terpisah dalam pita energi tertentu yang disebut dengan pita konduksi dan pita valensi. Dalam keadaan tanpa elektron disebut dengan celah pita. Celah pita tersebut besarnya berbeda-beda tergantung pada tiap material semikonduktor, tetapi celah tersebut tidak melebihi 3 atau 3 eV ($1\text{eV} = 1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$).

2.1.2 Proses Konversi Panel Surya

Proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik dikarenakan bahan material panel surya yang berupa semikonduktor. Semikonduktor tersebut tersusun atas dua jenis semikonduktor, yaitu jenis p dan n. Semikonduktor jenis p memiliki kelebihan *hole*, sehingga disebut dengan p (positif) karena kelebihan muatan yang bersifat positif. Semikonduktor jenis n memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif.

Awalnya dua jenis semikonduktor ini bertujuan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan menghantar daya listrik. Di dalam semikonduktor ini, elektron maupun *hole* memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan kemampuan daya hantar listrik dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan

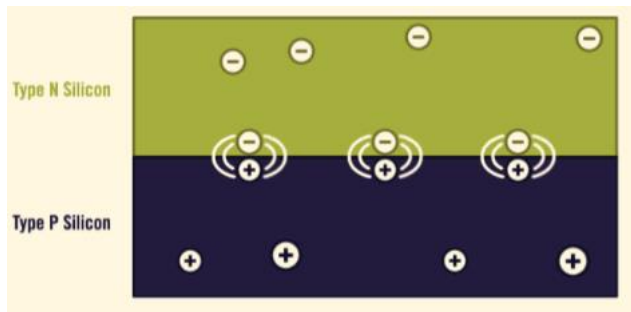


Gambar 2.1 Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung

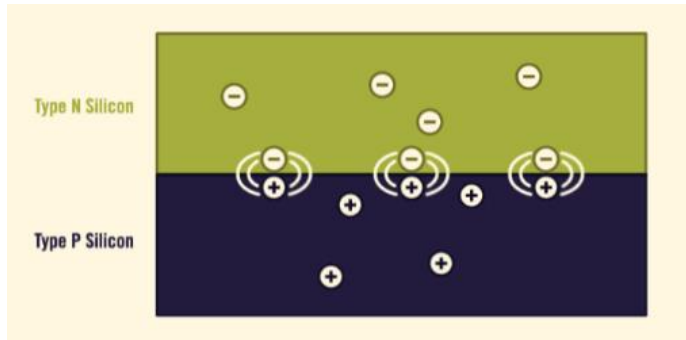
p jika disatukan membentuk sebuah sambungan p-n.

Gambar 2.1 merupakan bentuk semikonduktor p dan n sebelum tersambung. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor tersambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* yang berasal dari semikonduktor p menuju semikonduktor n seperti tampak pada gambar 2.2.

Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan *hole* pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah hole pada semikonduktor p berkurang. Daerah ini pada akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, *hole* dari semikonduktor p akan bersatu dengan elektron yang ada di semikonduktor n sehingga jumlah elektron yang ada pada daerah ini akan berkurang. Sehingga daerah ini akhirnya lebih bermuatan negatif. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan



Gambar 2.2 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor



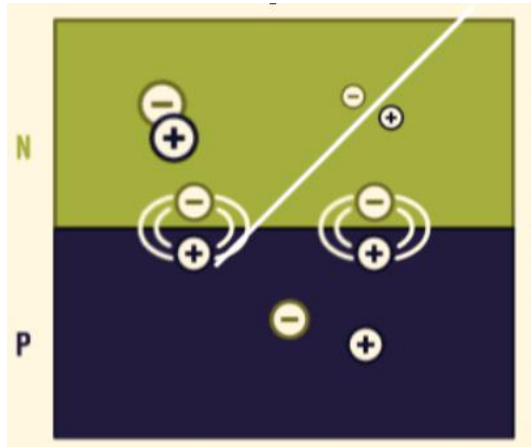
Gambar 2.3 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor

daerah deplesi. Baik elektron maupun *hole* yang terdapat pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas karena keberadaannya dijenis semikonduktor yang berbeda.

Dikarenakan adanya perbedaan antara muatan negatif dan positif pada daerah deplesi, maka timbul medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali hole ke arah semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n seperti tampak pada gambar 2.3. Medan listrik tersebut cenderung berlawanan dengan perpindahan hole maupun elektron pada awal terbentuknya daerah deplesi.

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan p dan n yang berada pada titik setimbang, dimana jumlah *hole* yang berpindah dari semikonduktor p ke n terkompensasi dengan jumlah hole yang ditarik kembali ke arah semikonduktor p akibat adanya medan listrik E . Begitu juga jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, terkompensasi dengan mengalisnya elektron ke arah semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E .

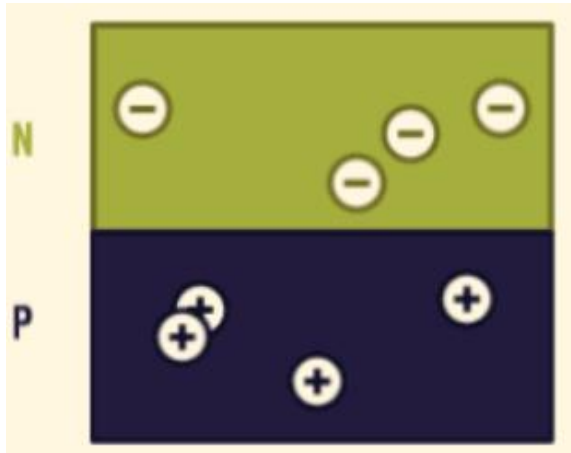
Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p. Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor seperti pada



Gambar 2.4 Sambungan semikonduktor terkena cahaya matahari

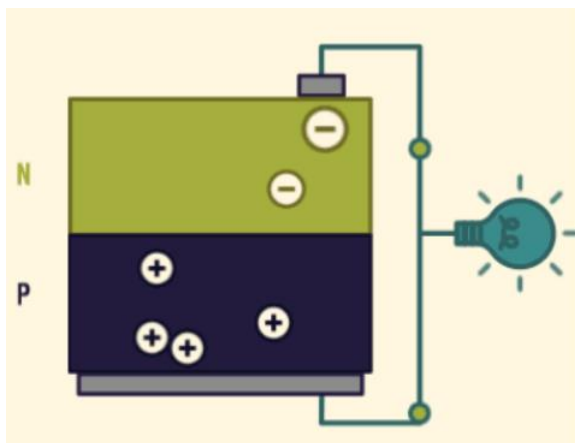
gambar 2.4. Terlepasnya semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron *hole* yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari seperti tampak pada gambar 2.5.

Cahaya matahari dengan panjang gelombang yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p. Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n. Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil



Gambar 2.5 Semikonduktor setelah ditembus cahaya matahari

fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p. Apabila rangkaian kabel dihubungkan



Gambar 2.6 Kabel dari sambungan semikonduktor

ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel seperti tampak pada gambar 2.6. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.

2.2. Pengolahan citra

Pada proses pengolahan citra pelacak cahaya matahari menggunakan library opencv, opencv merupakan sebuah library perangkat lunak open source berbasis c++ yang banyak digunakan sebagai program *Computer Vision*. Saat menuliskan algoritma dari pengolahan citra, terdapat banyak sekali proses operasi yang dapat digunakan pada openCV secara terus-menerus [10].

2.2.1. Grayscale

Grayscale merupakan sebuah fungsi dalam OpenCV yang berfungsi untuk melakukan konversi dari gambar RGB menjadi *grayscale*. Dalam suatu gambar *grayscale* setiap pikselnya berisi suatu informasi intensitas suatu cahaya yang direpresentasikan ke dalam bentuk warna hitam dan putih. Warna hitam menandakan intensitas cahaya sangat minim sedangkan warna putih menandakan intensitas cahaya sangat banyak. Nilai *grayscale* tersebut didapatkan dari tiap-tiap nilai dari suatu piksel dibagi menjadi tiga.

R:			
212	35	93	129
75	123	157	234
32	21	25	24
46	201	24	54

G:			
23	135	193	12
175	23	57	24
23	214	125	4
146	21	214	67

B:			
81	185	46	28
25	183	149	104
34	21	31	31
123	101	252	124

Gambar grayscale :			
105	118	110	56
91	109	121	120
29	85	60	19
105	107	163	81

Gambar 2.7 Contoh *grayscale* pada suatu gambar

Dari gambar 2.7, merupakan hasil $R+G+B$ dibagi tiga. Nilai ini merupakan intensitas cahaya tiap-tiap piksel dari suatu gambar.

2.2.2. Histogram

Sebuah citra terdiri dari sekumpulan piksel, dan tiap piksel tersebut memiliki nilai yang berbeda-beda. Contohnya sebuah citra berbentuk *grayscale* memiliki satu buah channel, tiap piksel tersebut memiliki nilai antara 0 (hitam) hingga 255 (putih).

Histogram merupakan representasi dari intensitas suatu piksel (baik dalam RGB maupun *grayscale*) dalam suatu gambar. Intensitas tersebut dapat divisualisasikan sebagai grafik (atau plot) yang menunjukkan intensitas dari tiap piksel. Histogram dari sebuah citra *grayscale* memiliki 255 bins. Bin 0 merupakan nomor piksel yang memiliki nilai 0, bin 1 berarti nomor dari piksel yang memiliki nilai 1, dan seterusnya. Nilai dari histogram ini memiliki range antara 0 hingga 255. Sehingga jika menjumlahkan seluruh histogram tersebut, maka akan didapatkan total nilai dari piksel. Dengan histogram kita dapat menentukan kontras, kecerahan dan distribusi intensitas dari suatu gambar [11].

Sebagai contoh terdapat sebuah citra berbentuk *grayscale* seperti gambar dibawah ini.

0	32	96	64
32	32	32	32
0	128	0	32
128	128	255	64

Untuk mendapatkan sebuah histogram dari citra tersebut, maka *range* yang digunakan yaitu $[0,255]$. Dengan persamaan (1) maka didapatkan $q_0 = 0$, $q_k = 255$, $p_0 = 0$ dan $n = 16$. Sehingga didapatkan tabel berikut.

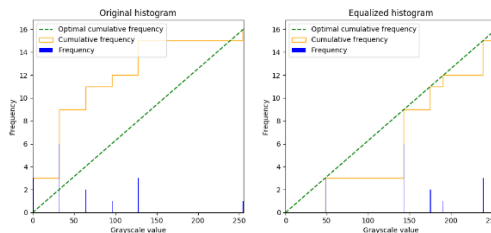
Tabel 2.1 Tabel kalkulasi histogram

P	H(p)	$\sum_{i=0}^q H(i)$	q
0	3	3	48
32	6	9	143
64	2	11	175
96	1	12	191
128	3	15	239
255	1	16	255

Dimana q memiliki persamaan berikut:

$$q = \frac{255}{16} \sum_{i=0}^q H(i) \quad (2.1)$$

Dari table tersebut maka dapat mengeluarkan histogram seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Hasil Histogram

2.2.3. Threshold

Threshold adalah suatu fungsi pada OpenCV dimana berfungsi untuk memisahkan antara gambar dengan background, ide dasar dari *threshold* yaitu nilai dari suatu *array*, sesuatu akan terjadi apabila nilai *array* tersebut dibawah atau diatas nilai *threshold* [12]. Dimana gambar yang kita tangkap berupa 24 bit akan dikonversikan menjadi gambar 8 bit gray [13].

1. *Threshold Binary*

Threshold Binary apabila nilai piksel lebih dari nilai *threshold* yang kita tentukan maka piksel tersebut akan memiliki nilai *maxValue*, dalam hal ini *max value* bernilai 255 yaitu berwarna putih, sedangkan apabila nilai dari piksel tersebut kurang dari nilai *threshold*, maka piksel akan bernilai 0 (putih).

$$dst(x,y) = \begin{cases} \text{maxVal}, & src(x,y) > threshold \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.2)$$

Gambar 2.9 menunjukkan gambar awal yang akan dilakukan *threshold binary* dengan nilai *threshold* 120, hasilnya apabila nilai input tiap pikselnya diatas nilai *threshold* maka akan memiliki nilai 255 sedangkan dibawah nilai *threshold* akan memiliki nilai 0 seperti ada pada tabel hasil.

Input			
25	240	183	174
80	85	125	23
215	79	194	124
28	206	40	84

Hasil			
0	255	255	255
0	0	255	0
255	0	255	0
0	255	0	0

Gambar 2.9 Contoh *threshold binary* pada suatu gambar

Dalam opencv apabila kita akan menuliskan seperti berikut:

`cvThreshold(const CvArr *src, CvArr *dst, double threshold, double max_value, int threshold_type)`

- `Const CvArr *src` adalah asal gambar yang akan dilakukan thresholding.
- `CvArr *dst` adalah tujuan gambar setelah dilakukan thresholding.
- `Double threshold` adalah nilai threshold yang akan ditentukan untuk membedakan antara objek dengan background.
- `Double max value` adalah nilai maximum yang diinginkan pada threshold.
- `Int threshold type` adalah jenis threshold yang ingin dilakukan.

2.2.4. Gaussian Blur

Gaussian blur sering diaplikasikan pada suatu gambar untuk mengurangi *noise*, sehingga gambar seolah lebih halus [14]. Pada *Gaussian blur* pertama-tama gambar harus dikonversi kedalam *Gaussian kernel* untuk menghasilkan gambar yang blur. Ukuran *kernel* disesuaikan sesuai kebutuhan. Makin besar ukuran kernel maka akan semakin blur gambar yang dihasilkan sedangkan makin kecil ukuran *kernel* akan semakin blur gambar yang dihasilkan. *Gaussian blur* dilakukan dengan mengaitkan setiap titik dalam masukan array dengan *Gaussian kernel* kemudian menjumlahkan semuanya untuk menghasilkan output.

$$K = \frac{1}{16} (\text{Input Image}) \quad (2.3)$$

Dimana K merupakan hasil dari Gaussian blur, *input image* merupakan gambar yang akan dilakukan proses blur. Nilai 1/16 merupakan ukuran dari kernel yang digunakan, apabila menggunakan kernel 3x3 maka nilai yang digunakan yaitu 1/16 sedangkan kernel 5x5 bernilai 1/273.

Gambar Asli			
50	50	100	100
50	50	100	100
50	50	100	100
50	50	100	100
50	50	100	100

Kernel		
1	2	1
2	4	2
1	2	1

Hasil Perhitungan		
50	100	100
100	200	200
50	100	100

Hasil Akhir			
50	50	100	100
50	50	100	100
50	62.5	100	100
50	50	100	100
50	50	100	100

Gambar 2.10 Contoh *Gaussian blur* pada suatu gambar

Dari gambar diatas merupakan contoh *Gaussian blur* pada suatu gambar. Gambar asli merupakan input yang akan di blur dengan ukuran 3x3 berwarna abu-abu merupakan titik yang akan kita blur. Dengan *kernel* 3x3 pula dapat dilakukan blur pada titik tersebut dengan cara mengalikan titik piksel dari gambar 3x3 berwarna abu-abu dengan *kernel* sesuai letak dari matriks tersebut. Hasilnya yaitu pada kolom matrix dijumlahkan semua lalu dibagi dengan total dari *kernel* 3x3. Sehingga hasilnya 1000/16 yaitu 62.5 .

2.2.5. Morphology

Morphology adalah operasi pengolahan citra pada opencv yang berfungsi untuk menghilangkan *noise*, memperbaiki piksel gambar yang rusak, atau menghilangkan objek yang tidak diinginkan [15]. *Morphology* dilakukan pada suatu gambar biner dan memerlukan dua buah input. Input yang pertama yaitu gambar asli dan yang kedua yaitu *kernel* yang akan menentukan tingkat efek dari morphology. *Morphology* memiliki dua

operasi dasar yaitu *erosi* dan *dilasi*, sedangkan ada pula modifikasi dari kedua ini yaitu *opening* dan *closing*.

1. Opening

Opening merupakan hasil variasi dari fungsi dua fungsi dasar *morphology* sebelumnya. *Opening* merupakan gabungan keduanya yaitu pertama dilakukan *erosi* lalu diikuti dengan *dilasi*. Gambar opening dari gambar A oleh gambar B ditandakan dengan $A \circ B$ yang merupakan gabungan dari erosi dan dilasi. Dimana \ominus dan \oplus menandakan erosi dan dilasi.

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (2.4)$$

Input						
0	0	0	255	0	0	0
0	0	255	255	255	0	0
0	255	255	255	255	255	0
0	255	255	255	255	255	0
0	255	255	255	255	255	0
0	0	0	255	0	0	0

Kernel		
255	255	255
255	255	255
255	255	255

Hasil Erosi						
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	255	0	0	0
0	0	255	255	255	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Hasil Dilasi						
0	0	0	0	0	0	0
0	0	255	255	255	0	0
0	255	255	255	255	255	0
0	255	255	255	255	255	0
0	255	255	255	255	255	0
0	0	0	0	0	0	0

Gambar 2.11 Contoh *morphology opening* pada suatu gambar

Dari hasil diatas dilihat pertama-tama gambar input akan dilakukan *erosi* sehingga piksel bernilai 255 akan terkikis sehingga luasannya mengecil. Setelah dilakukan *erosi* kemudian dilakukan dilasi dimana hasil erosi akan dilakukan dilasi untuk mengembalikan luasan piksel bernilai 255 seperti semula tetapi dengan minim *noise*.

2.2.6 Canny Edge

Canny Edge detector merupakan suatu fungsi deteksi tepi yang dikembangkan pertama kali pada tahun 1986 oleh John F. Canny. Tahapan dalam melakukan *canny edge detector* yaitu melakukan blur pada gambar untuk menghilangkan *noise*, lalu melakukan komputasi sobel gradient pada arah x dan y, melakukan penekanan pada tepian dan menentukan sebuah piksel apakah tepian atau tidak. Algoritma *canny edge detection* secara umum sebagai berikut:

1. Penghalusan Citra
Pada penghalusan citra digunakan proses Gaussian filter. Tujuan dari penggunaan Gaussian filter ini yaitu untuk menghilangkan *noise* yang ada pada gambar.
2. Mencari Intensitas Gradien Gambar
Pada langkah ini ada dua buah informasi yang dibutuhkan yaitu kekuatan edge dan arah edge. Operator sobel memanfaatkan dua buah template edge pada dua arah tegak lurus (horizontal dan vertical) dan menghitung arah edge dari arc tan kedua nilai tersebut.
3. Non-maximal Supression
Hasil dari tahap sebelumnya tidak memberi informasi mengenai lokasi dari edge yang dicari. Dengan menggunakan operator zero-crossing dapat diketahui posisi dari edge yang dicari. Non-maximal suppression bertujuan untuk membuang potensi

gradient di suatu piksel dari kandidat edge jika piksel tersebut bukan merupakan maksimal lokal pada arah edge diposisi piksel tersebut.

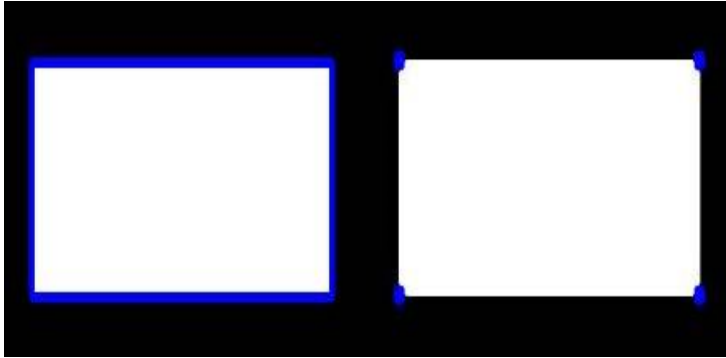
4. Hysteresis Thresholding

Hasil dari langkah non-maximal suppression adalah citra yang berisi kandidat edge serta intensitas dari kekuatan edge di posisi piksel tersebut. Langkah terakhir adalah thresholding atau klasifikasi tiap piksel apakah termasuk dalam kategori piksel edge atau tidak. Pada tahap ini bisa saja menggunakan threshold yang berdasarkan pada satu nilai tertentu. Namun pemilihan threshold yang hanya menggunakan satu nilai ini memiliki keterbatasan yaitu adanya kemungkinan piksel yang hilang padahal sebetulnya merupakan piksel *edge* (*false-negative*) ataupun dimasukkannya piksel yang sebetulnya merupakan noise sebagai piksel *edge* (*false-positive*). Oleh sebab itu dalam melakukan klasifikasi tidak hanya diperlukan intensitas dari kekuatan edge sebagai pertimbangan namun juga topologi (keterhubungan antar-piksel) lokal dari piksel tersebut. Sederhananya hysteresis thresholding adalah klasifikasi dengan dua buah nilai *High-threshold* dan *Low-Threshold*. suatu piksel disahkan sebagai piksel edge jika nilainya lebih besar atau sama dengan *High-Threshold* (thresholding umum) atau (di sini kaidah tambahannya) jika piksel tersebut memiliki intensitas kekuatan edge yang lebih besar dari *Low-Threshold* dan terhubung dengan piksel yang nilainya lebih besar dari *High-Threshold*.

2.2.7. Contour

Contour dapat digambarkan sebagai kurva yang saling terhubung pada seluruh titik yang kontinu. *Contour* berfungsi untuk melakukan analisa bentuk dan deteksi maupun mengenali objek. Hasil dari *contour* yaitu titik-titik batas objek yang dilakukan deteksi *contour* [16]. Dalam opencv terdapat 2 metode untuk memperkirakan suatu *contour* dari suatu objek yaitu *CV_CHAIN_APPROX_NONE* dan *CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE*.

Gambar 2.12 menunjukkan perbedaan kedua metode tersebut. Pada sisi kiri metode *CV_CHAIN_APPROX_NONE* menyimpan seluruh titik



Gambar 2.12 Perbedaan metode pada deteksi *contour*

yang terdapat sepanjang garis persegi panjang tersebut, sedangkan metode CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE menunjukkan hanya titik ujung saja yang disimpan, sehingga apabila menggunakan metode CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE akan jauh menghemat memori yang dipakai.

Untuk dapat menentukan titik tengah dari *contour* yang telah terdeteksi, digunakanlah *moment* yang berfungsi untuk mendapatkan titik tengah dari *contour*. Dengan *moment* dapat diketahui nilai titik tengah posisi x dan y dari *contour*. Untuk mendapatkan nilai titik tengah x dan y digunakan rumus berikut

$$x = \frac{m.m10}{m.m00} \quad (2.5)$$

$$y = \frac{m.m01}{m.m00} \quad (2.6)$$

Dimana m.m10 merupakan penjumlahan dari jarak piksel berwarna putih dari titik X, sedangkan m.m01 merupakan penjumlahan dari jarak piksel berwarna putih dari titik Y. m.m00 merupakan jumlah dari titik piksel yang akan dijumlahkan.

2.2.8. Hough Circle Transform

Hough circle transform merupakan fungsi pada pengolahan citra yang berfungsi untuk mendeteksi suatu lingkaran pada gambar. Pada deteksi garis, garis tersebut didefinisikan menggunakan dua parameter

(r,teta). Pada deteksi lingkaran, dibutuhkan tiga parameter yaitu (Xcenter, Ycenter, r). Dimana Xcenter dan Ycenter mendefinisikan posisi tengah dan r mendefinisikan radius. Hough circle transform didasarkan pada persamaan lingkaran, persamaan 8.

$$r^2 = (x - a^2) + (y - b^2) \quad (2.7)$$

Dimana a dan b merupakan koordinat titik tengah, dan r merupakan radius dari lingkaran. Lingkaran dengan radius R dan titik tengah (a,b) dideskripsikan dengan persamaan parametrik

$$x = a + r * \cos(\theta) \quad (2.8)$$

$$y = b + r * \sin(\theta) \quad (2.9)$$

Saat sudut θ berputar hingga sudut 360 derajat penuh poin (x,y) akan mendeteksi perimeter dari lingkaran. Jika suatu gambar memiliki beberapa poin, beberapa diantaranya jatuh pada batas lingkaran, maka program akan menemukan tiga parameter (a ,b ,R) untuk menggambarkan tiap lingkaran.

Dalam opencv dituliskan seperti berikut[17]:

```
vector<Vec3f> circles;
```

```
HoughCircles( src_gray, circles, CV_HOUGH_GRADIENT, 1,
src_gray.rows/8, 200, 100, 0, 0 );
```

- Src_gray adalah input gambar berupa grayscale.
- Circles adalah vector yang menyimpan tiga set nilai dari Xc, Yc, dan r untuk tiap lingkaran yang terdeteksi.
- CV_HOUGH_GRADIENT adalah metode yang digunakan.
- Dp = 1 merupakan nilai accumulator.
- Min_dst = src_gray/8. Merupakan jarak minimum antara titik tengah yang terdeteksi.
- Param_1 = 200 adalah nilai threshold tertinggi untuk internal canny edge detector.
- Param_2 = 100 adalah nilai threshold untuk deteksi pada titik tengah.
- Min_radius = 0 adalah nilai minimum radio untuk terdeteksi, apabila tidak diketahui maka diisi dengan nilai 0.
- Max_radius = 0 adalah nilai radio yang akan terpilih, apabila tidak diketahui maka diisi dengan nilai 0.

2.3. Kamera Web

Kamera web atau biasa disebut webcam merupakan gabungan dari kata web dan kamera. Webcam merupakan sebutan bagi kamera real-time. Jadi webcam merupakan sebuah peripheral berupa kamera sebagai pengambil citra/gambar dan mikropon. Gambar yang diambil oleh webcam ditampilkan ke layar monitor, karena dikendalikan oleh komputer sehingga terdapat port yang digunakan untuk menghubungkan antara webcam dengan computer. Gambar 2.13 merupakan gambar dari webcam yang digunakan pada penelitian ini.

2.4. Single Board Computer Lattepanda

Single Board Computer adalah sebuah computer lengkap yang dibuat pada papan circuit tunggal yang didalamnya berisi mikroprosesor, memori, input/output (I/O) dan fitur lain yang dibutuhkan untuk fungsionalitas computer. *Single board computer* dibuat sebagai *platform* pengembangan sistem, untuk sistem pendidikan, atau digunakan untuk controller computer yang tertanam. Tidak seperti desktop personal computer, single board computer selalu bergantung pada slot ekspansi untuk fungsi peripheral atau ekspansi. *Single board computer* didesain sederhana, seperti dibangun oleh penggemar komputer, dan umumnya menggunakan RAM statis dengan 8 atau 16 bit prosesor.



Gambar 2.13 Webcam Havit V622

Lattepanda adalah *single board computer* selayaknya mini pc yang telah diintegrasikan dengan mikrokontroller Arduino didalamnya. Mini pc ini mampu menjalankan OS linux dan windows 10 yang telah hadir Visual Studio, NodeJS, Java, Processing, dan lainnya. Mini pc ini diperkuat dengan Intel Cherry Trail Z8300 Quad Core 1.8 GHz, 4 GB DDR3L RAM, 64 GB memori internal, dan prosesor ATmega32u4 yang berfungsi sebagai Arduino Leonardo. Dengan tambahan WiFi dan *Bluetooth* 4.0 pada lattepanda sebagai sarana komunikasi. Bentuk dari Lattepanda dapat dilihat pada gambar 2.14.

Lattepanda berbeda dengan Raspberry Pi dan *development board* lainnya karena mendukung OS Windows 10. Dengan banyak sekali sumber *software* dan lingkungan *windows*, Lattepanda membuat user lebih leluasa dalam menuangkan idenya.

Spesifikasi lengkap :

- Prosesor : Intel Cherry Trail Z8350 Quad Core 1.8 GHz
- OS : Pre-installed full edition windows 10
- Ram : 4 GB
- Memori : 64 GB
- GPU : Intel HD Graphics, 12 EUs @200-500 Mhz, single-channel memori
- 1x USB 3.0 , 2x USB 2.0
- WiFi dan Bluetooth 4.0
- Built-in Arduino Co-processor ATmega32u4
- HDMI dan MIPI-DSI
- Onboard touch panel
- Ethernet
- 6 GPIOs from Cherry Trail Processor
- 20 GPIOs from Arduino Leonardo
- 6 PnP Gravity sensor connectors
- Power 5V 2A

Arduino Leonardo merupakan sebuah board mikrokontroller berbasis atmega32u4. Arduino Leonardo memiliki 20 digital pin input/output dimana 7 pin tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 12 pin sebagai input analog. Perbedaan Arduino Leonardo dengan Arduino lainnya yaitu ATmega32u4 secara terintegrasi telah memiliki komunikasi USB, sehingga tidak lagi membutuhkan prosesor sekunder sebagai



Gambar 2.14 Bentuk board Lattepanda

converter USB-to-serial. Dibawah ini merupakan spesifikasi dari Arduino Leonardo:

Tabel 2.2 Spesifikasi Lattepanda

Mikrokontroller	ATmega32u4
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input (Disarankan)	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	6-20 V
Digital I/O Pin	20 pin
Channel PWM	7 pin
Input Analog	12 pin
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega32u4)
SRAM	2.5 KB (ATmega32u4)
EEPROM	1 KB (ATmega32u4)
Kecepatan Clock	16 MHz

2.8. RTC DS1307

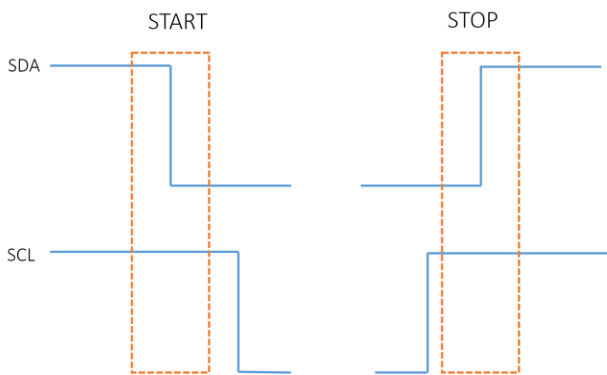
RTC merupakan suatu divais elektronika berupa jam elektronik yang berfungsi untuk menjaga waktu agar tetap berjalan, sehingga waktu yang ditampilkan dapat akurat. RTC pada umumnya dapat ditemukan pada *motherboard* suatu komputer, fungsinya sama seperti diatas yaitu untuk

menjaga jam pada komputer agar tetap berjalan walaupun komputer berada pada kondisi mati. Untuk dapat melakukan pembacaan data RTC, maka dibutuhkan sebuah sistem komunikasi yang bernama I2C.

Komunikasi serial merupakan komunikasi pengiriman data dimana dalam mengirimkan data tersebut dilakukan secara bergantian per-bit. Kelebihan dari penggunaan komunikasi serial yaitu hanya memerlukan 1 jalur data, yaitu SDA dan SCL. SCL merupakan jalur dimana master akan mengirimkan sinyal clock terus menerus untuk melakukan pengiriman data, sedangkan SDA berfungsi sebagai jalur data tersebut dikirimkan dari slave menuju master.

Komunikasi serial terdapat 2 macam, yaitu *synchronous serial* dan *asynchronous serial*. Pada *synchronous serial*, hanya terdapat satu pihak dari pengirim / penerima yang dapat melakukan pengiriman sinyal clock dan mengirimkan sinyal tersebut bersama dengan data. *Asynchronous serial*, dimana kedua pihak pengirim / penerima keduanya menghasilkan *clock* tetapi hanya data yang ditransmisikan, tanpa adanya *clock*. Sinyal *clock* yang dihasilkan kedua belah pihak harus sinkron agar data yang dikirimkan maupun yang diterima sama.

I2C atau *Inter Integrated Circuit* merupakan standar komunikasi serial data dengan menggunakan dua jalur yaitu SDA dan SCL. Pada I2C menghubungkan dua buah perangkat *master* dan *slave*. *Master* adalah perangkat yang berfungsi untuk memulai pengiriman data pada I2C membentuk sinyal *start* dan mengakhiri komunikasi dengan sinyal *stop*. Sedangkan *slave* merupakan perangkat yang dialamati oleh *master*.



Gambar 2.15 Proses sinyal start dan stop pada SDA dan SCL

Untuk membentuk sinyal start perlu dilakukan pemberian sinyal *High* pada SCL dan SDA, setelah itu memindahkan sinyal SDA dari *high* ke *low*. Sedangkan sinyal stop dilakukan dengan cara memberi sinyal high pada SCL dan melakukan transisi sinyal dari *low* ke *high* pada SDA seperti gambar 2.15.

Salah satu RTC yang mudah dijumpai yaitu RTC DS1307. Untuk melakukan pembacaan detik, menit, jam, tanggal, bulan, dan tahun dapat dilakukan dengan menggunakan komunikasi serial. *Master* akan mengirimkan sinyal *clock* secara terus menerus ke RTC dan juga mengirimkan kode melalui SDA ke RTC. Pada DS1307 terdapat dua buah mode pada RTC ini.

1. *Data Write*

Pertama-tama melakukan start pada serial komunikasi, setelah itu dikirimkan *slave address* dari *master* menuju *slave*. Pada kolom *word address* ini berisi kode yang dimasukkan untuk melakukan write pada detik, menit, jam, tanggal, bulan, maupun tahun. Kode tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Address Write DS1307

No.	ADDRESS
1	00h
2	01h
3	02h
4	03h
5	04h
6	05h
7	06h
8	07h
9	08h – 3Fh

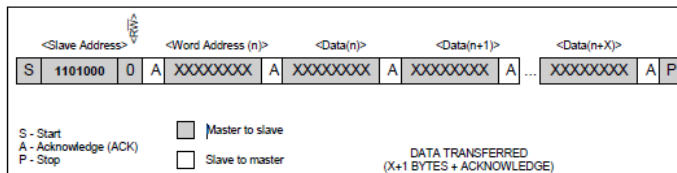
ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00-59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00-59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1-12 +AM/PM 00-23	
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	0	DAY			Day	01-07
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01-31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01-12
06h	10 Year				Year				Year	00-99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h-3Fh									RAM 56 x 8	00h-FFh

Gambar 2.16 Pengalamatan pada DS1307

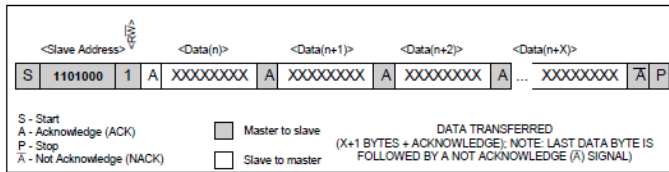
Setelah memasukkan *word address* maka dimasukkan data yang akan dimasukkan, Data dimasukkan sesuai urutan data apa yang akan di masukkan sesuai gambar 2.16. Setelah selesai memasukkan data yang ingin kita ganti maka dilakukan stop. Secara ringkas dapat dilihat pada gambar 2.17.

2. Data Read

Untuk melakukan pembacaan data dari RTC, pertama-tama tahap yang dilakukan yaitu mengirimkan sinyal *start* menuju *slave* dari *master*, setelah itu master akan mengirimkan *slave address* yaitu 1101000 diikuti dengan bit 1 yang menandakan bahwa melakukan *read* pada RTC. Setelah itu dilanjutkan dengan mengirimkan *address* dari data yang ingin dibaca.



Gambar 2.17 Data write pada DS1307



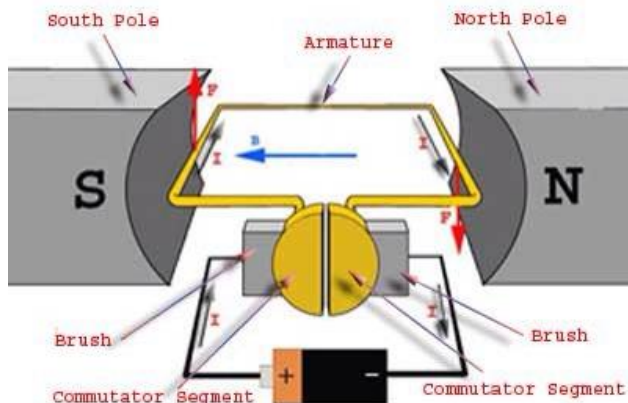
Gambar 2.18 Data read pada DS1307

Setelah mengirimkan *address* dari data tersebut langkah selanjutnya yaitu memberi *acknowledge* dilanjutkan dengan data yang akan dibaca. Ringkasan data read terlihat pada gambar 2.18.

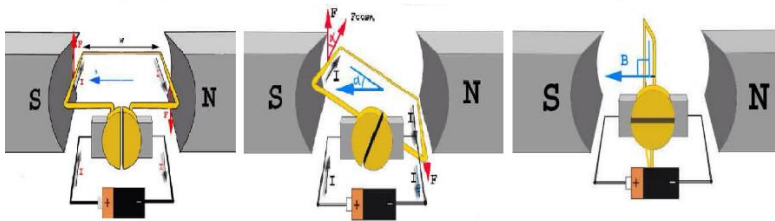
2.9. Motor DC

Motor DC merupakan motor elektrik yang digerakkan dengan menggunakan tegangan dengan arus searah atau DC dimana mengubah energy listrik menjadi energy kinetik. Motor DC memiliki dua komponen utama yaitu stator, bagian yang tidak berputar yang terdiri dari kumparan magnet dan rangka. Bagian lain dari motor DC yaitu rotor, bagian yang berputar terdiri dari jangkar

Pada gambar 2.19, rotor pada sebuah motor memiliki kawat angker penghantar listrik yang berbentuk persegi panjang. Pada kedua



Gambar 2.19 Struktur dari motor DC

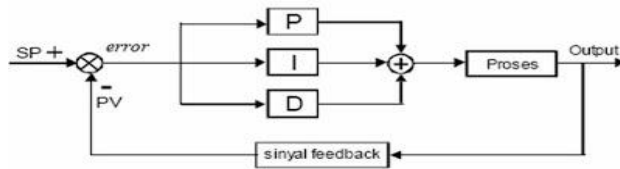


Gambar 2.20 Arah putar motor DC

ujung kawat tersebut terpasang sebuah komutator berbentuk lingkaran yang tengahnya terbelah atau disebut cincin belah, cincin belah ini ikut berputar bersama rotor. Stator motor tersusun atas dua magnet dengan kutub utara dan selatan yang saling berhadapan. Pada gambar diatas, masing-masing kutub baterai terhubung dengan sikat karbon, sehingga tercipta arus DC yang bergerak dari kutub positif ke negative melalui sikat karbon.

Pada gambar 2.20 sisi kiri, garis medan magnet mengarah ke kiri yang ditandai dengan garis biru dan huruf B. Arus listrik ditandai dengan garis berwarna hitam dan huruf I. Dengan menggunakan kaidah tangan kiri, maka gaya dorong F akan mengarah keatas. Gaya dorong yang tegak lurus langsung terhadap kawat angker kanan dan kiri ini menghasilkan torsi yang paling besar pada rotor motor, torsi ini yang menyebabkan motor berputar.

Pada gambar 2.20 tengah, cincin belah terhubung dengan sikat karbon sehingga arah dari arus listrik tetap. Dengan kaidah tangan kiri, arah gaya dorong mengarah ke atas, torsi yang terjadi yaitu lebih kecil sebesar $\cos \alpha$ daripada gaya F. Torsi motor akan bernilai nol pada saat posisi kawat tegak seperti pada gambar 2.20 sisi kanan. Dengan kaidah tangan kiri, jika kawat angker terdapat arus listrik, maka arah dari gaya dorong kawat akan mengarah ke atas atau ke arah bawah. Sudut α sebesar 90 derajat menandakan tidak ada gaya torsi, karena nilai dari $\cos 90$ bernilai nol. Nilai torsi nol tidak akan membuat motor berhenti berputar dikarenakan sifat daripada kelembaman rotor maka motor akan terus berputar selama terdapat arus yang mengalir melalui kawat angker. Kelebihan dari penggunaan motor DC yaitu mudah dalam hal pengaturan kecepatan dan juga sederhana dalam pengaturannya. Selain itu dalam hal



Gambar 2.21 Closed loop PID

konsumsi daya motor DC merupakan salah satu motor yang memiliki penggunaan daya yang cukup kecil.

2.10 Kontrol PID

PID Kontrol atau *proportional-integral-derivative kontroller* adalah sebuah kontroler yang berguna untuk menentukan kepresisian atau keakuratan suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik umpan balik atau feedback. PID digunakan cukup sering pada sistem kontrol industri. PID *kontroller* terdiri dari 3 jenis, yaitu *proportional*, *integrative*, dan *derivative*. Ketiganya dapat digunakan secara bersamaan

Pada PID *kontroller* sendiri terdapat 3 macam yaitu kontrol PI, PD, dan PID. *Kontroller* PI merupakan kontrol yang menggunakan komponen P dan I, sedangkan PD menggunakan komponen P dan D, dan terakhir PID menggunakan ketiga komponen yaitu P, I, dan D. Kontrol K_p akan memberikan efek mengurangi waktu naik tetapi tidak memberi perubahan pada setting time. Kontrol K_i akan memberikan efek hilangnya steady state error. Kontrol K_d akan memberikan efek meningkatnya stabilitas sistem dan mengurangi overshoot dan setting time pada sistem. Efek dari setiap pengendali dalam sistem lingkaran tertutup dapat dilihat pada tabel berikut ini [18]:

Tabel 2.4 Tabel pengaruh P I dan D terhadap sistem

Closed-Loop Response	Rise Time	Overshoot	Settling Time	SS Error
K_p	Berkurang	Meningkat	Perubahan Kecil	Berkurang
K_i	Berkurang	Meningkat	Meningkat	Hilang
K_d	Perubahan Kecil	Berkurang	Berkurang	Perubahan Kecil

Dari Tabel 2.3 dapat diketahui bahwa pengendali proporsional akan mengurangi waktu naik, meningkatkan persentase lewatan maksimum dan mengurangi keadaan tunak. Sedangkan pengendali proporsional derivatif mereduksi lewatan maksimum dan waktu turun. Selain itu, pengendali proporsional integral menurun pada waktu naik, meningkatkan lewatan maksimum dan waktu turun dan akan menghilangkan kesalahan keadaan. Karena masing-masing mempunyai kelebihan, untuk menentukan besar nilai K_p , K_i , dan K_d dapat menggunakan tuning secara manual untuk mendapatkan nilai yang sesuai [19].

PID Kontrol menghasilkan sinyal keluaran untuk mengatur aksi dari suatu plant berdasarkan spesifikasi performa [20]. Kontroller akan menerima input, dimana nilainya berbeda dengan error (e) antara nilai yang diinginkan (set point / r) dan nilai hasil ukur yang actual (y) didukung oleh sinyal umpanbalik dari suatu divais yang ingin dikontrol. Kontrol PID menghasilkan output (u), yang mana merupakan proportional, integral, maupun derivative dari error, dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Apabila menggunakan sebuah kontrol proporsional, kontrol tersebut akan melakukan koreksi pada variable terkontrol yang sebanding dengan perbedaan nilai yang diinginkan dan nilai yang terukur [21]. Output dari control proporsional adalah produk perkalian dari sinyal *error* dan nilai *gain* proporsional.

2.11 Filter Neutral Density

Filter neutral density atau filter ND merupakan sebuah filter yang banyak digunakan untuk memotret *long exposure*. Filter ini berfungsi untuk mengurangi jumlah cahaya yang masuk ke dalam kamera.

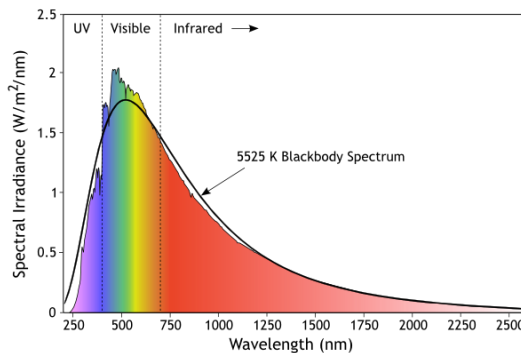
Pada filter ND terdapat angka penomoran yang berbeda-beda untuk menunjukkan densitas optiknya, contohnya ND2, ND4, ND8, ND16 dan lain-lain. Nilai tersebut menunjukkan kemampuan filter untuk mengurangi jumlah cahaya yang masuk. Tabel 2.5 menunjukkan angka pada filter ND dan kemampuan untuk mengurangi cahaya. Sebagai contoh pada table 2.5 dengan angka ND2, memiliki arti memiliki kemampuan untuk mengurangi cahaya sebesar 50%, apabila ND16 yang digunakan maka dapat mengurangi jumlah cahaya sebesar 6.25%. Sehingga makin besar angka pada ND, maka makin besar kemampuan untuk mengurangi jumlah cahaya yang masuk pada kamera.

Tabel 2.5 Tabel angka filter ND

Angka ND	Pengurangan Cahaya	F-Stop Reduction
ND2	50%	1 stop
ND4	25%	2 stop
ND8	12.5%	3 stop
ND16	6.25%	4 stop
ND32	3.125%	5 stop
ND64	1.563%	6 stop
ND128	0.781%	7 stop
ND256	0.391%	8 stop
ND512	0.195%	9 stop
ND1000	0.1%	10 stop

2.12 Filter Ultraviolet

Filter ultraviolet atau filter UV merupakan sebuah filter pada kamera yang berfungsi mencegah kerusakan sensor CMOS pada kamera. Filter UV memiliki kemampuan untuk memotong sinar UV dibawah 390nm dan sinar IR diatas 700nm. Filter ini biasa digunakan untuk sebuah kamera yang tidak memiliki filter proteksi IR pada sensor kamera. Hal ini sangat penting karena sensor CCD dan CMOS kamera yang tidak terdapat filter sangat rentan terhadap sinar UV dan IR diluar spektrum yang terlihat memiliki dampak yang sangat buruk pada kualitas gambar. Gambar 2.23 menunjukkan panjang gelombang dari sinar UV dan IR, dimana filter UV akan memotong sinar UV dan IR sesuai spesifikasi dari filter UV.

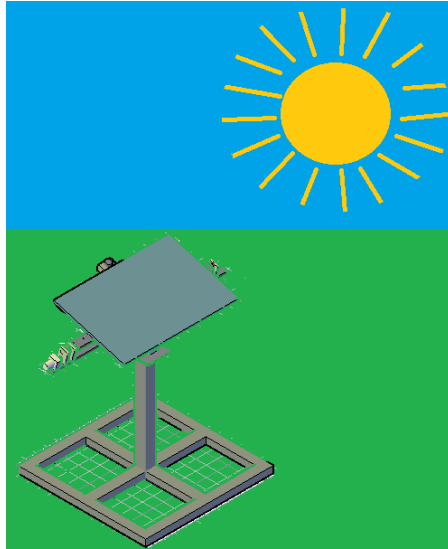


Gambar 2.22 Panjang gelombang sinar UV dan IR

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

Bab III

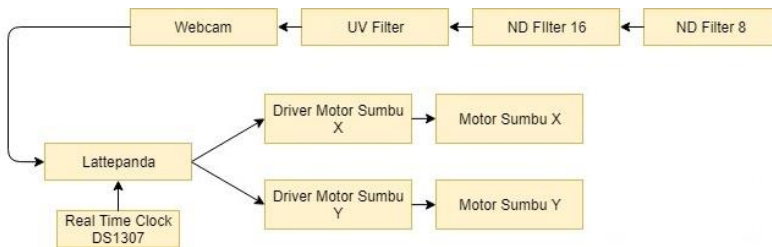
PERANCANGAN SISTEM



Gambar 3.1 Rancangan sistem yang akan diterapkan

Perancangan sistem pelacak cahaya matahari ini tergabung dalam sebuah sistem yang terdiri dari penangkapan citra, sistem mekanik, dan sistem elektrik seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.1. Penangkapan citra merupakan bagian utama dari sistem ini yang berfungsi untuk menangkap citra dengan kamera webcam dan filter cahaya. Sistem mekanik merupakan bagian dimana sistem mekanik bekerja yang terdiri dari pergerakan sumbu x dan sumbu y. Sistem elektrik terdiri dari rangkaian yang berfungsi agar sistem dapat bekerja dengan baik dengan adanya catu daya.

Bab perancangan sistem ini menjelaskan sistem secara keseluruhan pada perangkat keras, perangkat mekanik dan perangkat lunak dan desain dari tiap blok yang ada. Perangkat keras yang digunakan yaitu LattePanda, Arduino Leonardo, Webcam, Driver H bridge, modul *buck converter*, filter UV, dan filter Neutral Density. Perangkat mekanik merupakan bagian-bagian pada pelacak cahaya matahari mulai dari kerangka besi untuk sumbu x, kerangka besi aluminium kotak untuk sumbu y,



Gambar 3.2 Blok diagram sistem pelacak cahaya matahari

penggunaan material teflon sebagai dudukan gear, gear 1:15 yang berasal dari bor bekas, dan besi aluminium L untuk kerangka solar panel. Perangkat lunak meliputi program berupa proses deteksi keberadaan matahari dengan menggunakan opencv dan program Arduino untuk menggerakkan motor.

3.1 Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem ini menjelaskan tentang keseluruhan kerja sistem yang terdapat pada pelacak cahaya matahari. Sistem kerja pada pelacak cahaya matahari yaitu melakukan pelacakan posisi matahari yang berbasis citra.

Pada gambar 3.2 menunjukkan blok diagram sistem keseluruhan pada pelacak cahaya matahari. Pelacak matahari akan menggerakkan 2 buah motor (sumbu x dan y) yang dikirimkan oleh LattePanda berasal dari IDE visual studio dengan *library* opencv. Tangkapan citra matahari berasal dari kamera *webcam* yang diberi tambahan filter cahaya yaitu filter UV dan Filter ND 8 & 16, filter UV yang ditempatkan tepat di depan kamera dan ditambahkan dengan Filter ND 16 dan 8, citra tersebut diproses oleh LattePanda yang nantinya akan menghasilkan posisi x dan y posisi matahari berada yang akan dikirimkan ke Arduino Leonardo didalam LattePanda untuk menggerakkan motor DC.

Perangkat keras pada sistem pelacak cahaya matahari :

- Filter Neutral Density 8 & 16
Filter Neutral Density 8 & 16 atau filter ND berfungsi untuk mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke dalam kamera webcam, sehingga posisi matahari lebih mudah terdeteksi.
- Filter UV

Filter UV berfungsi melindungi sensor CMOS pada kamera *webcam* agar tidak rusak dikarenakan kamera webcam menerima cahaya matahari terus-menerus.

- Webcam
Webcam berfungsi sebagai komponen utama untuk melacak keberadaan matahari.
- Lattepanda
Lattepanda berfungsi untuk menjalankan program deteksi cahaya matahari, hasil dari deteksi tersebut berupa nilai x dan y posisi matahari dan mengirimkannya ke Arduino.
- Real Time Clock DS1307
Real time clock DS1307 berfungsi untuk memberi waktu kapan sistem akan mulai berjalan untuk mendeteksi dan berhenti mendeteksi keberadaan matahari.
- Driver Motor
Driver motor berfungsi untuk menentukan arah motor akan berputar dan menerima masukan berupa PWM dari Arduino.
- Motor DC
Motor DC berfungsi menggerakkan rangka besi panel surya agar cahaya yang diterima dari panel surya lebih efisien.

Perangkat lunak yang digunakan pada sistem pelacak cahaya matahari ini secara umum adalah :

- Perangkat lunak pengolahan citra
Pada Lattepanda, perangkat lunak berfungsi untuk melakukan deteksi dari posisi matahari berdasarkan titik paling terang pada langit.
- Perangkat lunak pada Arduino
Pada Arduino, perangkat lunak berfungsi untuk menerima data dari lattepanda berupa posisi matahari saat ini dan melakukan pengiriman nilai PWM ke motor untuk menempatkan posisi panel surya ke tengah matahari.

Berdasarkan gambar 3.2, sebelum citra matahari diambil oleh kamera, diberikan 3 buah filter cahaya, yaitu Filter UV, Filter ND 8, dan filter ND 16. Peran masing-masing filter tersebut cukup penting dalam mendeteksi matahari, baik untuk mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke kamera webcam maupun melindungi sensor CMOS kamera webcam dari kerusakan yang dikarenakan cahaya matahari berlebih yang diterima oleh sensor CMOS. Citra yang ditangkap akan diolah oleh menggunakan IDE visual studio dengan *library* opencv, hasil dari deteksi

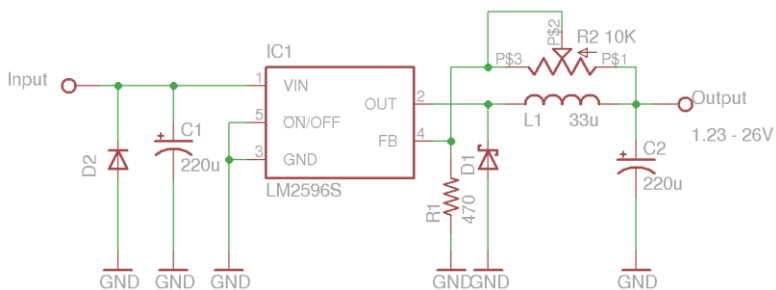
tersebut yaitu data posisi x dan y matahari yang dikirimkan ke Arduino melalui serial komunikasi, pada Arduino data akan diolah untuk menggerakkan motor dengan menggunakan kontrol proporsional sebagai pengatur gerak supaya posisi pancaran cahaya matahari tepat ke arah panel surya. Modul RTC berfungsi sebagai penanda waktu kapan motor akan mulai dan berhenti bergerak.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

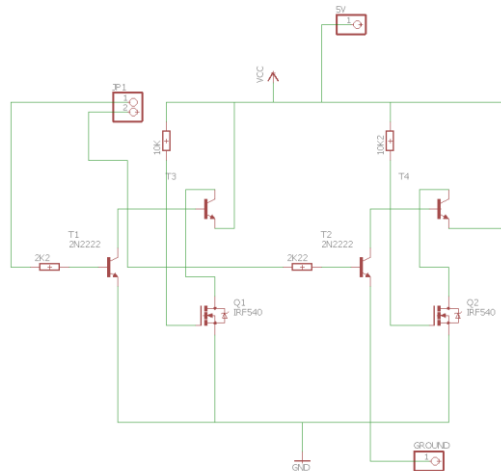
Perangkat keras pada sistem pelacak cahaya matahari meliputi komponen *buck converter*, H-bridge motor driver, filter ND, filter UV, motor DC, kontroler aki, aki, real time clock DS1307, dan Lattepanda.

3.2.1 Buck Converter

Buck Converter adalah komponen yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sumber aki sebesar 13 volt menjadi tegangan sebesar 5 volt. Pada penelitian ini digunakan tiga buah *buck converter* yang memiliki fungsi masing-masing. *Buck converter* pertama sebesar 5.5 volt digunakan untuk menggerakkan motor arah sumbu X. *Buck converter* kedua sebesar 5.2 volt digunakan untuk menggerakkan motor arah sumbu Y. Penggunaan sekitar 5 volt terbilang cukup pas untuk pergerakkan motor karena perputaran cukup pelan apabila dibandingkan menggunakan 12 volt sebagai sumber tegangan untuk menggerakkan motor. Buck converter ketiga sebesar 5 volt digunakan untuk sumber daya pada Lattepanda. Pada gambar 3.3 ini merupakan *wiring* dari modul *buck converter*.



Gambar 3.3 Rangkaian *buck converter*



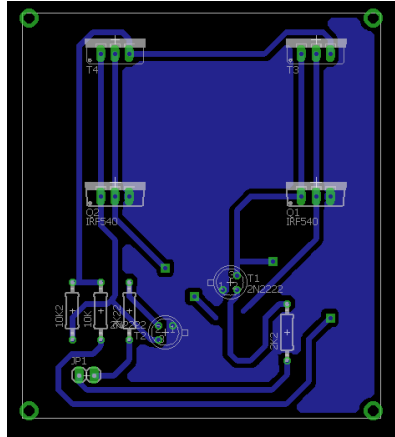
Gambar 3.4 Rangkaian *H-bridge* driver motor

converter. Dimana masukan sebesar 12 volt akan menghasilkan tegangan keluaran sebesar dibawah nilai 12 volt.

3.2.2 H-bridge Motor Driver

H-bridge motor driver yang digunakan yaitu menggunakan transistor 2N2222, IRF540, dan IRF9540. Gambar 3.4 merupakan rangkaian yang didesain pada software eagle. Dua transistor 2N2222 berfungsi untuk menguatkan tegangan agar mampu membuka gate dari transistor IRF, sehingga motor dapat berputar kedua arah yaitu searah dan berlawanan arah jarum jam.

Pada gambar 3.5 merupakan gambar rangkaian yang telah dilakukan desain jalur untuk kemudian dicetak pada PCB. Pin base dari transistor 2N2222 akan disambungkan ke pin PWM dari Arduino, sehingga motor dapat diatur kecepatan putarnya. Dalam satu buah driver motor, pin base dari masing-masing transistor 2N2222 akan terhubung ke dua pin PWM pada Arduino, tujuannya yaitu kecepatan motor dapat dikendalikan. Sehingga karena sistem memerlukan dua buah motor yang akan dikendalikan 2 buah driver, maka driver tersebut memerlukan empat pin PWM pada Arduino.



Gambar 3.5 Board PCB H-bridge driver motor

3.2.3 Filter Neutral Density

Filter *neutral density* atau disingkat Filter ND merupakan sebuah filter cahaya berfungsi untuk mengurangi jumlah cahaya yang masuk ke dalam lensa kamera webcam seperti prinsip dari penggunaan kacamata hitam yang biasa digunakan. Hasil dari penggunaan Filter ND ini yaitu intensitas cahaya matahari akan jauh berkurang diterima oleh kamera *webcam*, sehingga dapat terlihat dengan cukup jelas bentuk matahari. Filter ND yang digunakan yaitu Filter ND 8 dan 16. Alasan dari pemilihan Filter ND 8 dan 16 yaitu harga yang tidak terlalu mahal dan mudah didapat pada toko-toko online. Gambar 3.6 merupakan bentuk Filter ND 16 dan 8 yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 3.6 Filter ND 16 (kiri) dan Filter ND 8 (kanan)



Gambar 3.7 Filter UV yang digunakan

3.2.4 Filter UV

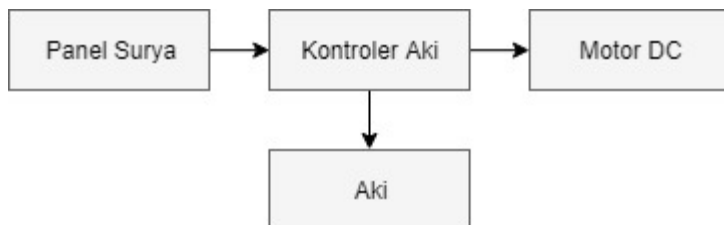
Filter UV yang digunakan terlihat seperti gambar 3.7, filter ini berfungsi untuk menjaga sensor CMOS pada kamera agar tidak rusak yang dikarenakan paparan cahaya matahari berlebih. Filter UV yang digunakan berasal dari filter UV yang terdapat pada kamera aksi.

3.2.5 Motor DC

Pada penelitian ini, motor DC yang digunakan yaitu Toshiba DGM-204-2A. Motor DC ini memiliki spesifikasi 22 rotasi per menit dan memiliki beban maksimum pada rentang 22 – 25 kg/cm². Didalam gearbox motor ini terdapat ratio gigi 1:200. Motor DC ini diberi sumber tegangan sebesar 5 – 5.5 volt yang berasal dari aki yang telah diberi *buck converter*.

3.2.6 Kontroller Aki

Pada penelitian ini kontroler aki digunakan untuk mengisi daya aki yang dipakai dan menjalankan motor yang akan digunakan. Masukan dari aki yaitu tegangan yang berasal dari panel surya, lalu kontroler akan memberikan keluaran ke aki untuk dilakukan pengisian daya dan memberikan tegangan untuk menggerakkan motor. Gambar 3.8



Gambar 3.8 Diagram blok kontroler aki

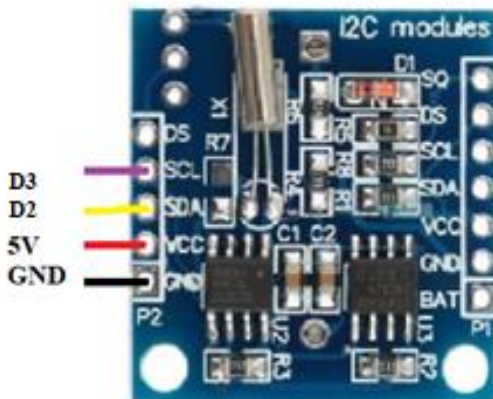
merupakan blok diagram dari kontroler aki yang digunakan.

3.2.7 Aki

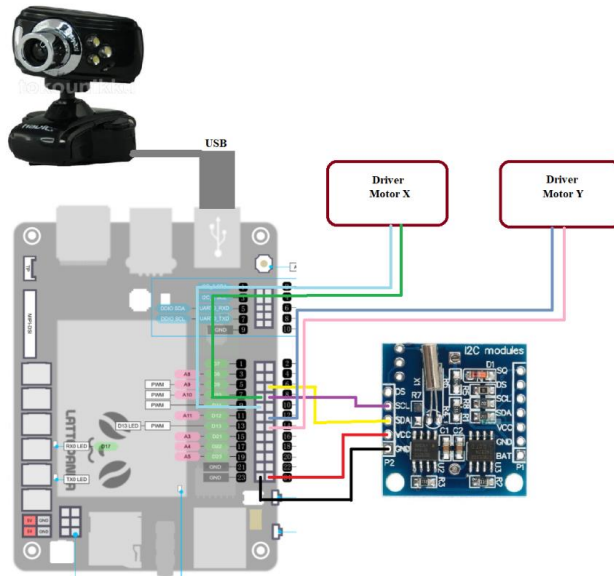
Aki pada penelitian ini berfungsi sebagai penyimpanan daya. Daya yang berasal dari panel surya akan disimpan pada aki. Aki ini akan menjadi sumber daya bagi motor dan Lattepana. Spesifikasi dari aki yang digunakan yaitu tegangan sebesar 13 volt dan kapasitas 7.2 ah.

3.2.8 Real Time Clock DS1307

Dalam penelitian ini, real time clock DS1307 berfungsi untuk penunjuk waktu kapan program mulai dan berhenti berjalan. Program



Gambar 3.9 Modul RTC DS1307 beserta *pinout*



Gambar 3.10 Wiring pada Lattepanda

mulai berjalan pada saat matahari mulai tampak pada kamera. Program mulai berjalan mulai pukul 8.30 pagi, hal ini dikarenakan terbatasnya sudut kemiringan yang dapat kamera tangkap gambar matahari dan program berhenti berjalan pukul 15.30 sore. Gambar 3.9 merupakan modul RTC DS1307 yang digunakan beserta *pinout*.

3.2.9 Lattepanda

Dalam perancangan sistem pelacak cahaya matahari ini, Lattepanda berfungsi sebagai pengolahan citra dan sebagai sumber pengendali motor dengan built-in Arduino Leonardo di dalamnya. Pengolahan citra pertama diambil dari kamera webcam yang terhubung pada Lattepanda melalui *Universal Serial Bus* (USB). Tabel 3.1 merupakan tabel *pinout* yang digunakan pada Arduino. Gambar 3.10 merupakan gambar wiring pada Lattepanda.

Tabel 3.1 Wiring Arduino Leonardo

No.	Pin Arduino	Komponen	Keterangan
1	D2 / SDA	RTC	SDA RTC DS1307
2	D3 / SCL	RTC	SCL RTC DS1307
3	D10	Driver motor X	Motor X clockwise
4	D11	Driver motor X	Motor X counter clockwise
5	D5	Driver motor Y	Motor Y clockwise
6	D6	Driver motor Y	Motor Y counter clockwise

3.3 Perancangan Mekanik Pelacak Cahaya Matahari

Perancangan mekanik pada pelacak cahaya matahari meliputi perhitungan kekuatan motor yang mampu menahan beban solar panel, perhitungan rasio gigi, dan desain rangka pada pelacak cahaya matahari yang menggunakan autocad.

3.3.1 Perhitungan Kekuatan Motor

Pada subbab 3.3.1 perhitungan kekuatan motor, dilakukan perhitungan agar dapat memperkirakan berapa beban maksimal yang mampu digerakkan oleh motor seperti berat panel surya dan berat rangka secara keseluruhan. Perhitungan tersebut seperti persamaan 3.1.

$$\text{Beban Maksimum} = \frac{T}{r} \quad (3.1)$$

Dimana :

Beban Maksimum = Beban maksimal yang dapat ditahan oleh motor DC

T = Torsi maksimum motor (22 kg/cm²)

r = panjang lengan motor terhadap beban

Apabila panjang lengan sumbu x bernilai 5 cm, maka sesuai persamaan 3.1 didapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh motor:

$$\text{Beban Maksimum} = \frac{22}{5}$$

$$\text{Beban Maksimum} = 4.2 \text{ kg}$$

Untuk beban yang dapat ditahan oleh motor sumbu y dengan $r = 2 \text{ cm}$, maka perhitungan tersebut:

$$\text{Beban Maksimum} = \frac{22}{2}$$

$$\text{Beban Maksimum} = 11 \text{ kg}$$

Sehingga berdasarkan perhitungan di atas, motor mampu bergerak apabila diberi beban maksimal sebesar 4.2 kilogram untuk sumbu x dan 11 kilogram untuk sumbu y.

3.3.2 Perhitungan Ratio Gigi

Pada tugas akhir ini, kecepatan putar motor sebesar 22 putaran per menit, kecepatan tersebut terlalu kencang sehingga diperlukan sebuah gigi untuk memperlambat gerak motor. Gigi yang digunakan berasal dari bor tangan listrik seperti pada gambar 3.11.

Pada gigi bor memiliki rasio 1:15, sehingga dengan kecepatan putar motor awalnya 22 putaran per menit maka kecepatan putar pada *shaft* akhir memiliki kecepatan 1.46 putaran per menit. Dengan kecepatan sebesar 1.46 putaran per menit maka kecepatan tersebut cukup ideal bagi pelacak cahaya matahari karena membutuhkan kecepatan yang pelan.



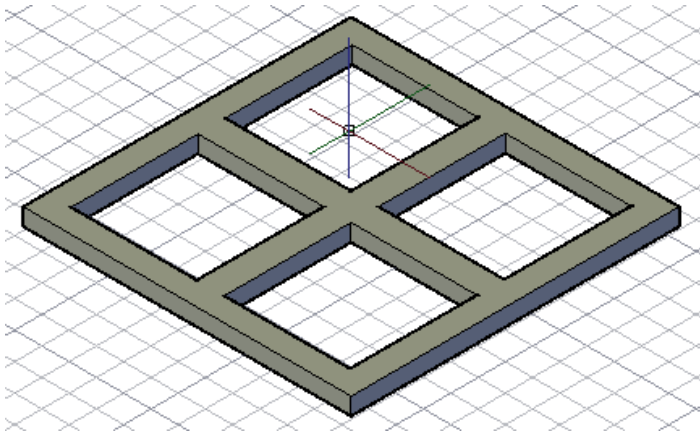
Gambar 3.11 Gear bor

3.3.3 Desain Rangka Pelacak Cahaya Matahari

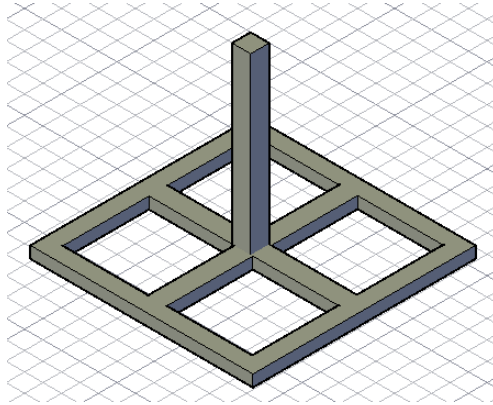
Pada desain rangka pelacak cahaya matahari, seluruh proses perencanaan ini dilakukan menggunakan software AutoCAD. Perencanaan tersebut dilakukan secara 3D agar tahap realisasi lebih mudah dilakukan berdasarkan perencanaan.

Berdasarkan jumlah beban yang digunakan, ukuran desain pelacak cahaya matahari menyesuaikan dengan beban yang ada dan ukuran dari panel surya yang digunakan yaitu panel surya dengan ukuran 50 watt. Langkah pertama dari desain rangka ini yaitu membuat rangka utama atau fondasi agar rangka mampu menahan beban secara keseluruhan. Rangka yang digunakan seukuran 60 x 60 cm dengan menggunakan rangka besi alumunium kotak supaya tahan terhadap beban besar dan tetap ringan, gambar rangka tersebut dapat dilihat pada gambar 3.12.

Setelah pembuatan rangka utama maka dilakukan pembuatan tiang utama untuk motor sumbu x, tiang ini memiliki tinggi 60 cm, tinggi ini dinilai cukup pas agar perputaran motor dapat bergerak lebih leluasa apabila telah disambungkan dengan panel surya. Gambar penggabungan tiang utama dengan rangka dasar utama dapat dilihat pada gambar 3.13.

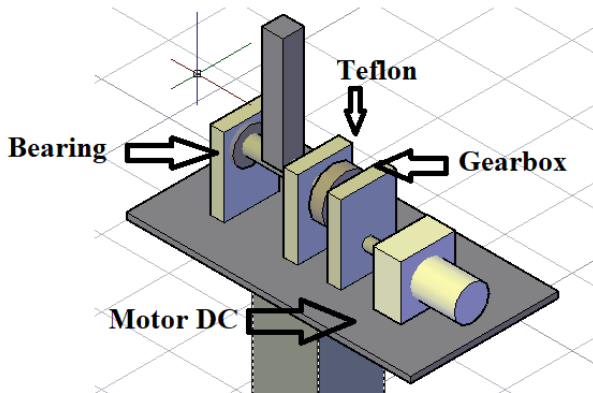


Gambar 3.12 Rangka dasar utama

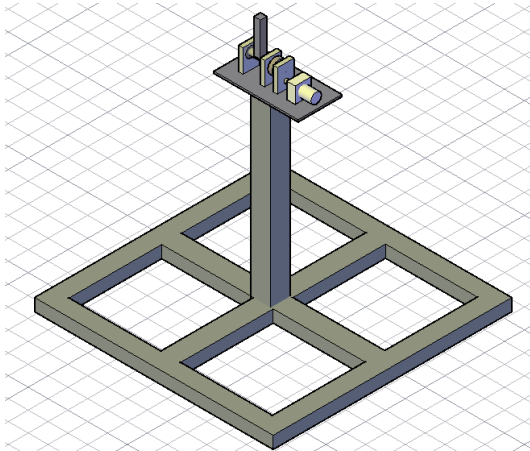


Gambar 3.13 Tiang utama yang terpasang pada rangka utama

Di atas tiang utama terdapat motor DC yang diberi gigi yang berasal dari bor, pemasangan gigi tersebut diberi *shaft* sambungan antara as motor dengan as gigi bor yang terbuat dari besi bubut sehingga tingkat presisi as motor dengan as gigi bor cukup tinggi dengan *losses* yang seminim mungkin. Dudukan dari gigi bor 1:15 terbuat dari material teflon yang dibubut, hal ini dilakukan agar sambungan antara gigi dengan jumlah 1 dengan ratio gigi dengan jumlah 15 memiliki tingkat “center” yang pas, sehingga perputaran motor lebih lancar dan untuk me minimalkan adanya *losses* mekanik.

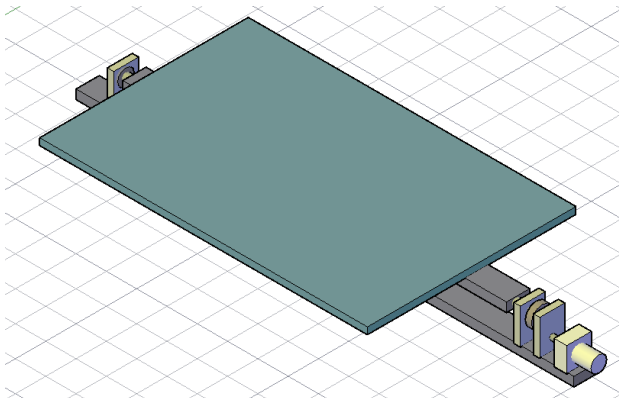


Gambar 3.14 Desain penempatan gear dan motor



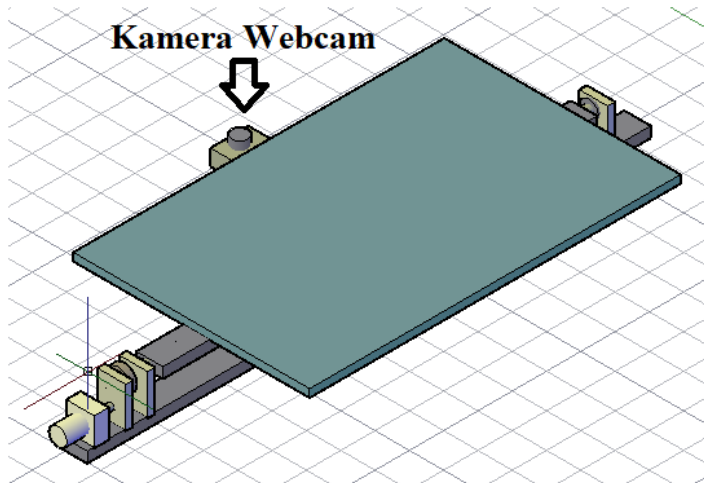
Gambar 3.15 Rangka pergerakan sumbu X

Agar lebih kuat menahan beban panel surya, maka diberi penahan tambahan pada ujung *shaft* akhir dengan menggunakan *bearing* yang terhubung dengan dudukan material teflon, pada ujung shaft akhir ini akan menghasilkan pergerakan sumbu x dan terhubung dengan motor DC sumbu y, hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 3.14. Gambar akhir dari rangka untuk pergerakan sumbu X dapat dilihat pada gambar 3.15.

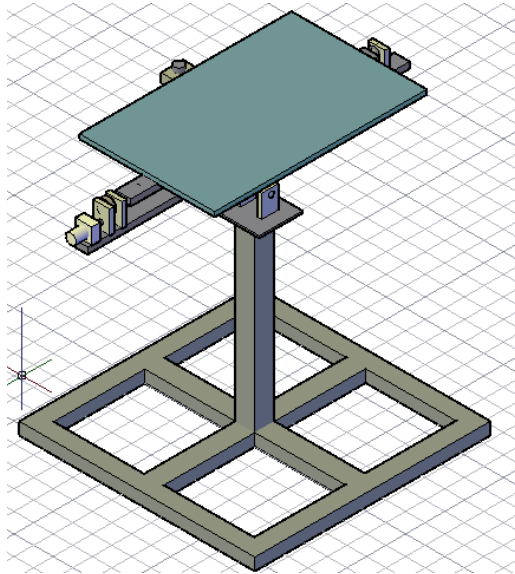


Gambar 3.16 Rangka pergerakan sumbu Y

Pada pergerakan sumbu y, rangka utama terdapat pada *shaft* sumbu x, dimana rangka utama terbuat dari besi alumunium kotak yang diberi dudukan untuk motor DC dan gigi bor. Dudukan ini terbuat dari plat besi sedangkan dudukan gigi bor terbuat dari material teflon yang dibubut. Sama seperti sumbu x, hasil keluaran *shaft* pada motor DC diberi *shaft* sambungan yang telah dibubut pada kedua ujungnya. Dudukan gigi menggunakan material teflon yang dibubut supaya “center” antara gigi dengan jumlah 1 dengan rasio gigi dengan jumlah 15. Agar lebih kuat menahan beban panel surya, maka ujung *shaft* akhir diberi bearing dengan dudukan material Teflon sehingga. Hasil pada *shaft* akhir diberi sebuah rangka panel surya dengan menggunakan material besi alumunium L berukuran 550 x 680 mm. Hasil keseluruhan sistem pergerakan sumbu Y dapat dilihat pada gambar 3.16. Penempatan kamera diletakkan pada rangka pergerakan sumbu Y, diletakkan di samping panel surya seperti terlihat pada gambar 3.17. Hasil desain keseluruhan ditunjukkan pada gambar 3.18.

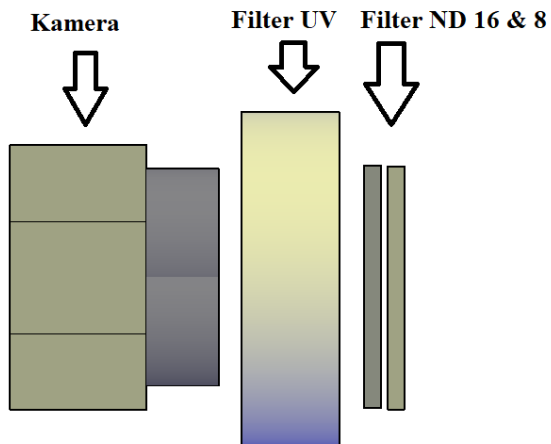


Gambar 3.17 Penempatan kamera pada rangka sumbu Y



Gambar 3.18 Hasil akhir rangka keseluruhan

3.3.4 Desain Penempatan Filter Cahaya



Gambar 3.19 Perencanaan penempatan filter

Penempatan filter cahaya seperti pada gambar 3.19, didepan kamera diberikan filter UV terlebih dahulu, penempatan filter UV setelah kamera agar sensor kamera terlindungi secara langsung dari sinar UV. Setelah pemberian filter UV, diberikan filer ND 8 dan 16 yang ditempatkan secara berurutan filter ND 16 lalu filter ND 8.

3.4 Perancangan Perangkat Lunak

Pada bab perancangan perangkat lunak hanya menggunakan LattePanda untuk melakukan proses pengolahan citra dan mengendalikan motor.

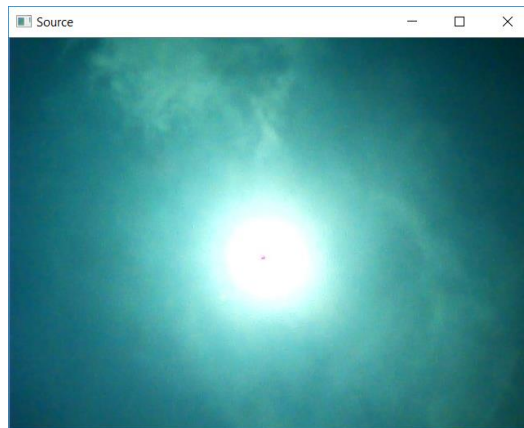
Pengolahan citra adalah deteksi matahari, dimana sistem mampu mengenali matahari dan menentukan posisi kemana motor harus bergerak untuk mengarahkan kamera ke arah matahari. Mengendalikan motor adalah menggerakkan sistem keseluruhan tepat ke arah matahari.

3.4.1 Perangkat Lunak Pengolahan Citra

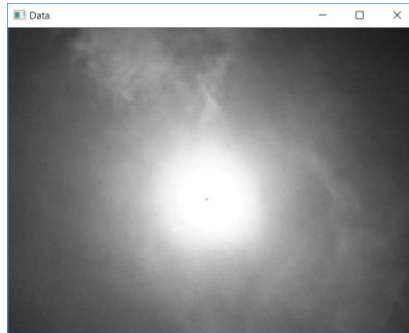
Pada perangkat lunak pengolahan citra seperti terlihat pada gambar 3.29.

1. Input Gambar

Awalnya kamera webcam akan menangkap citra yang telah diberi filter UV dan filter ND. Hasil tangkapan ini akan diproses pada tahap selanjutnya. Gambar 3.20 merupakan contoh input gambar yang akan dilakukan seluruh proses pengolahan citra ini.



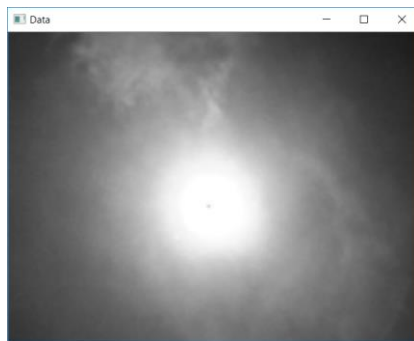
Gambar 3.20 Input gambar yang akan diproses



Gambar 3.21 Hasil konversi *grayscale*

2. Convert Grayscale
 Hasil tangkapan citra lalu dikonversi menjadi bentuk *grayscale* agar dapat dilakukan proses *threshold*. Hasil dari konversi ini yaitu berupa gambar 1 bit hitam putih, hasil dari konversi ini dapat dilihat pada gambar 3.21.

3. Gaussian Blur
 Sebelum memasuki proses *threshold* citra akan disamarkan dengan gaussian blur, tujuannya untuk menghilangkan *noise* yang ada pada citra. Dengan proses ini maka akan menghasilkan sebuah gambar yang tersamarkan. Hasil dari proses Gaussian blur dapat dilihat pada gambar 3.22, terlihat bahwa gambar berhasil disamarkan untuk meminimalkan adanya *noise*.



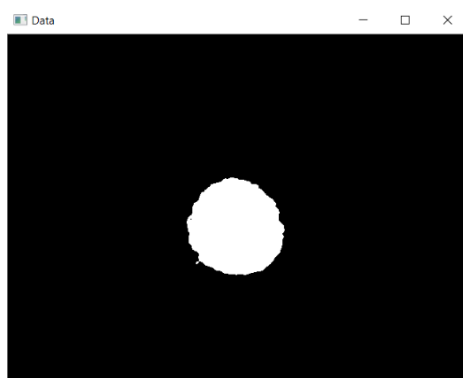
Gambar 3.22 Hasil proses gaussian blur

4. Threshold

Pada *threshold* ini dilakukan pemilihan nilai *threshold* yang sesuai dan menerapkan nilai tersebut pada proses *threshold*, caranya yaitu dengan mengambil 10 sampel citra matahari lalu dicari dimana letak nilai *threshold* dengan intensitas yang paling rendah, makin cerah sinar yang dipancarkan oleh matahari maka nilai *threshold* akan semakin mendekati nilai maksimum dari input gambar proses *threshold* (bernilai 255), sebaliknya apabila makin sedikit sinar yang dipancarkan maka nilai *threshold* akan sedikit menjauh dari nilai maksimum. Contohnya dengan gambar *grayscale* seperti pada gambar 3.22, gambar tersebut diambil pada kondisi cerah, dimana setelah dianalisa didapatkan bahwa nilai *threshold* yang didapat mendekati nilai maksimum 255, maka rentan nilai yang dapat dipakai untuk proses *threshold* bernilai mendekati 255..Dengan adanya nilai *threshold* yang paling rendah akan menghasilkan nilai yang sesuai untuk proses *threshold*. Tujuan dari proses *threshold* yaitu untuk membedakan antara objek yang ingin dideteksi dengan latar. Hasil dari proses *threshold* ini terlihat pada gambar 3.23 dimana dengan nilai *threshold* yang sesuai dapat membedakan antara objek yang ingin dideteksi (matahari) dengan latar (langit).

5. Morphology

Setelah dilakukan proses *threshold*, maka dilakukan *morphology opening* yang bertujuan untuk menghilangkan titik *noise* kecil



Gambar 3.23 Hasil proses *threshold*

pada citra. Sehingga hasil dari proses ini yaitu hilangnya titik noise kecil pada gambar. Gambar 3.24 menunjukkan hasil dari proses *morphology opening*.

6. Contour

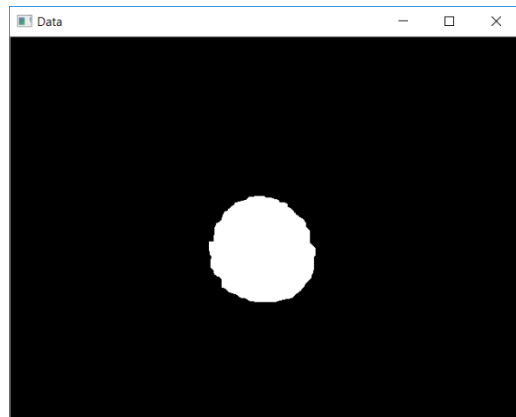
Pada proses *contour*, dipilih nilai luasan *contour* terbesar, tujuannya agar *noise* berukuran sedang dan besar dapat dieliminasi, sehingga hanya tersisa bentuk matahari yang dapat diproses pada tahap selanjutnya. Gambar 3.25 menunjukkan hasil dari proses *contour* ini.

7. Threshold

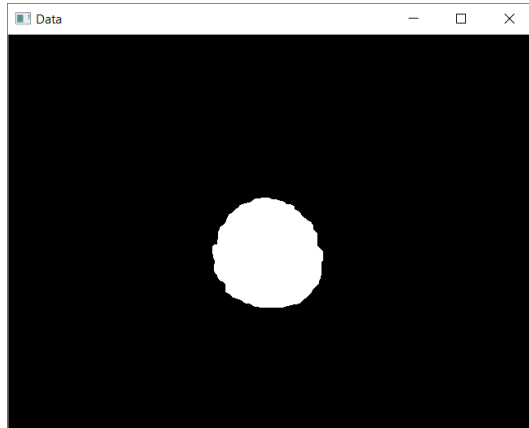
Setelah proses *contour*, gambar yang dihasilkan dari proses *contour* yaitu berupa gambar 24 bit, oleh karena itu perlu dilakukan proses *threshold* kembali agar gambar kembali ke dalam bentuk 8 bit. Hasil dari proses *threshold* ini sama seperti gambar 3.25, hanya saja format dari gambar ini berubah menjadi 8 bit.

8. Canny Edge

Canny edge detection dilakukan dengan tujuan untuk mendeteksi tepian dari objek matahari agar proses deteksi lingkaran dapat dilakukan. Dengan gambar masukan hasil

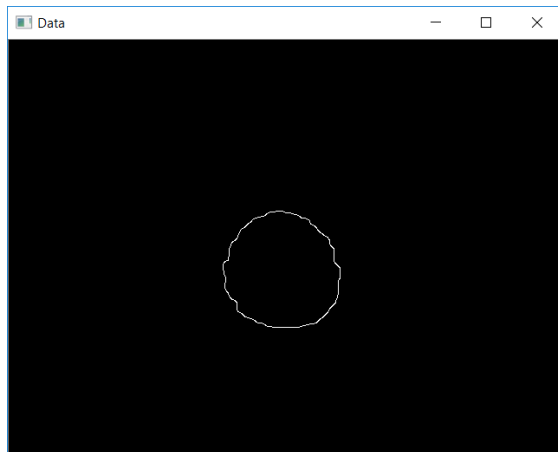


Gambar 3.24 Hasil proses *morphology opening*

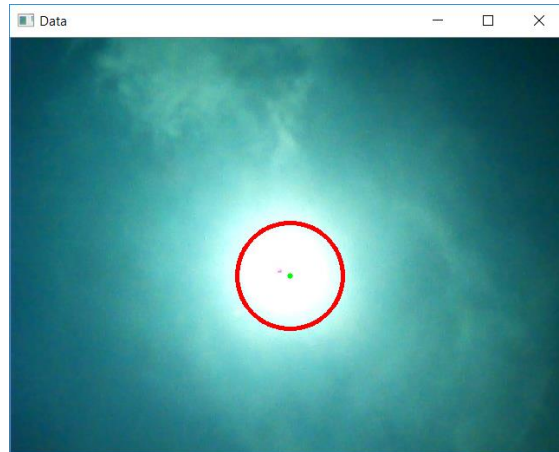


Gambar 3.25 Hasil proses *contour*

proses sebelumnya yang menghasilkan gambar dengan format 8 bit, maka proses *canny edge* dapat dilakukan. Hasil proses canny edge dapat dilihat pada gambar 3.26, terlihat bahwa tepian pada gambar dapat terlihat.



Gambar 3.26 Hasil proses *canny edge detection*



Gambar 3.27 Hasil proses *hough circle transform*

9. Hough Circle Transform

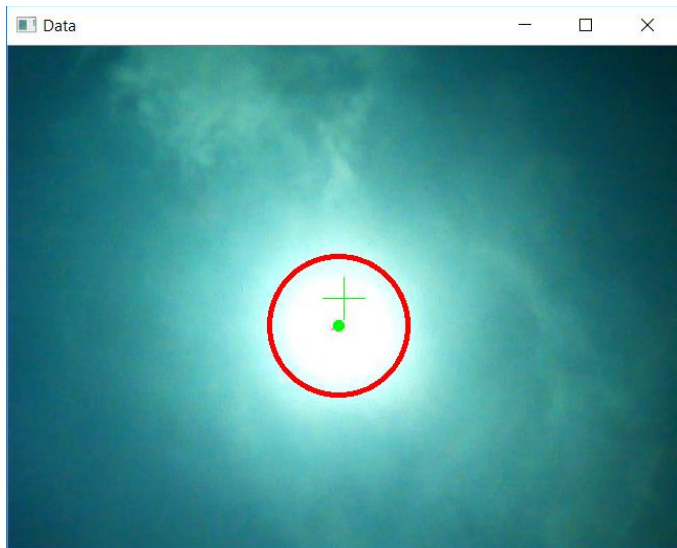
Pada proses deteksi lingkaran atau *hough circle transform* dilakukan pemilihan parameter-parameter yang sesuai agar sistem dapat mengenali posisi dari matahari pada layar. Terdapat beberapa jenis *hough transform* pada openCV untuk menganalisa bentuk suatu objek [22], tetapi karena ingin melakukan deteksi matahari maka jenis yang digunakan yaitu *hough circle transform*. Nilai-nilai parameter tersebut didapatkan dari melakukan deteksi lingkaran pada beberapa sampel citra matahari yang telah diambil. Hasil dari pemilihan parameter yang tepat maka menghasilkan keberhasilan deteksi posisi matahari. Gambar 3.27 merupakan hasil dari proses *hough circle transform*, terlihat bahwa pemilihan parameter yang tepat seperti pada gambar tersebut ditandai dengan adanya lingkaran berwarna merah.

10. Posisi Matahari

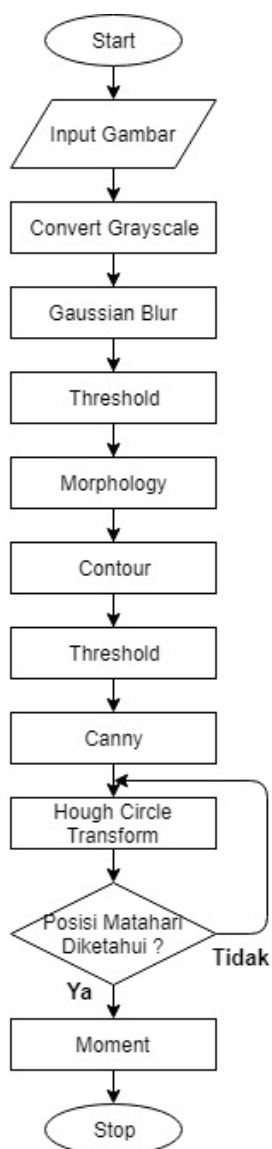
Hasil dari *hough circle transform* yaitu untuk menunjukkan ada tidaknya posisi matahari. Apabila terdapat posisi matahari maka langkah berikutnya yaitu mendapatkan titik tengah matahari tersebut, sedangkan apabila tidak diketahui posisi matahari maka sistem akan terus melakukan deteksi tersebut.

11. Moment

Mendapatkan titik tengah matahari didapatkan dengan cara proses *moment*. *Moment* didapatkan dengan cara menghitung titik tengah dari proses deteksi *contour* pada langkah sebelumnya. Nilai titik tengah ini lalu dikirimkan ke Arduino. Gambar 3.28 menunjukkan hasil dari pancarian titik tengah matahari dengan *moment*, dapat dilihat bahwa titik tengah dari matahari ditandai dengan titik berwarna hijau, sehingga dapat dianalisa bahwa proses ini telah berhasil menganalisa dimana letak titik tengah dari gambar matahari yang telah ditangkap pada proses pertama, yaitu input gambar.



Gambar 3.28 Hasil proses moment

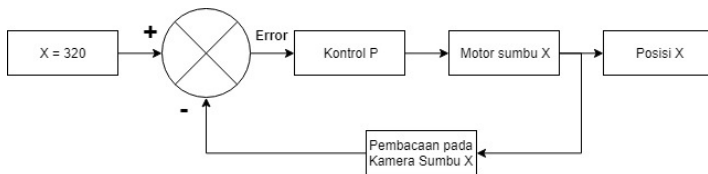


Gambar 3.29 Flowchart pengolahan Citra

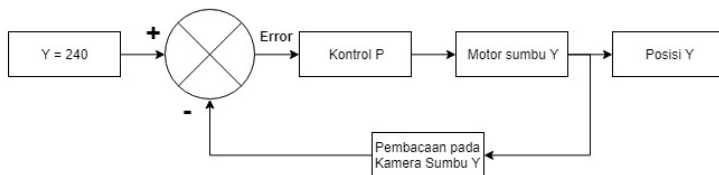
3.4.2 Perangkat Lunak Pengendali Motor

Pada perangkat lunak pengendali motor, seperti pada gambar 3.32 yang menunjukkan cara kerja dari pengendali motor untuk 1 siklus program.

1. Waktu = 08.30
Pada tahap ini apabila waktu telah menunjukkan pukul 08.30, maka sistem akan mulai berjalan. Pukul 08.30 ini dipilih karena pada jam tersebut matahari sudah tampak.
2. Posisi matahari diketahui
Pada tahap ini akan menentukan ada tidaknya matahari, apabila terdapat matahari maka program akan menerima data posisi x dan y matahari dari visual studio lalu nilai ini digunakan untuk menggerakkan motor.
3. Motor X bergerak
Pada tahap ini motor sumbu X akan bergerak berdasarkan posisi matahari dengan kontrol proporsional. Blok diagram dari kontrol proporsional tersebut dapat dilihat pada gambar 3.30. Set point merupakan titik tengah posisi matahari (310 hingga 330), sedangkan nilai pembacaan posisi matahari merupakan posisi yang didapatkan dari pengolahan citra.
4. Posisi X = 310 hingga 330
Pada tahap ini apabila posisi sumbu X telah ditengah maka program akan berganti menerima posisi sumbu Y. Apabila belum ditengah maka program akan terus menggerakkan motor X hingga berada pada posisi tengah. Posisi tengah ini memiliki range 310 hingga 330.



Gambar 3.30 Blok diagram kontrol proporsional sumbu X



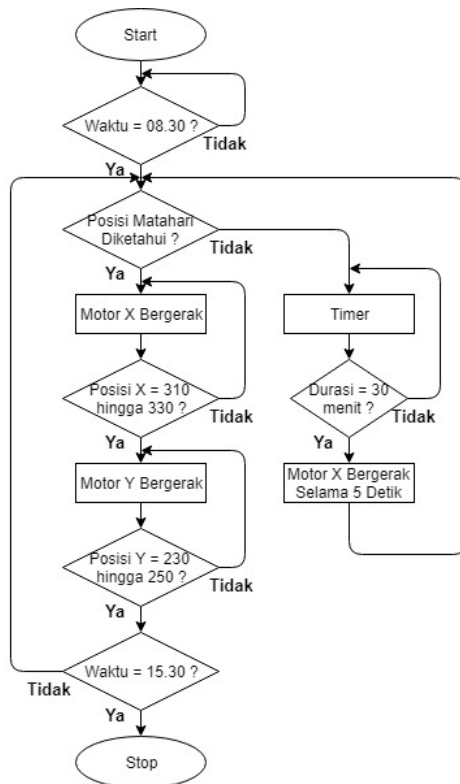
Gambar 3.31 Blok diagram kontrol proporsional sumbu Y

5. Motor Y bergerak
Pada tahap ini motor sumbu Y akan bergerak berdasarkan posisi matahari dengan kontrol proporsional. Blok diagram dari kontrol proporsional sumbu Y ini terlihat pada gambar 3.31. Sama seperti blok diagram sumbu X, yang berbeda hanya posisi setpoint yang memiliki range nilai 230 hingga 250.
6. Posisi Y = 230 hingga 250
Pada tahap ini apabila posisi sumbu Y telah ditengah, maka program untuk melakukan cek pukul selanjutnya dimana program berhenti bekerja. Apabila belum ditengah maka program akan terus menggerakkan motor Y hingga berada pada posisi tengah. Posisi tengah pada sumbu Y yaitu 230 hingga 250.
7. Waktu = 15.30
Pada tahap ini apabila waktu telah menunjukkan pukul 15.30, maka sistem akan berhenti berjalan. Pukul 15.30 ini dipilih karena pada jam tersebut matahari sudah mulai tidak tampak sehingga penerimaan cahaya cukup minim.
8. Timer
Timer berfungsi untuk menyimpan waktu mulai menghitung dimana waktu pada saat sistem tidak menerima keberadaan matahari.
9. Durasi = 30 menit
Tahap ini akan mengecek apa sudah 30 menit program tidak menerima keberadaa matahari. Apabila sudah 30 menit maka program akan mengirim perintah untuk menggerakkan motor sumbu X. Pemilihan durasi ditentukan berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, selama 30 menit terjadi perubahan posisi, besar sudut yang berubah sebesar kurang lebih 7 derajat. Selain itu pemilihan waktu sebesar 30 menit dipertimbangkan karena apabila durasi telah melebihi 30 menit maka posisi matahari

telah keluar dari frame, agar tetap dapat menjaga posisi matahari dalam frame maka pemilihan waktu 30 menit dinilai cukup. Sehingga dengan dua pertimbangan diatas dipilihlah durasi timer selama 30 menit.

10. Motor X bergerak selama 4 detik

Pada tahap ini motor akan bergerak selama lima detik. Lima detik dipilih karena selama 30 menit matahari akan berpindah sebanyak kurang lebih 8 derajat, sehingga sesuai pengujian motor maka selama lima detik motor berputar maka sistem akan bergerak kurang lebih 8 derajat.



Gambar 3.32 Flowchart pengendali motor

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pada bab ini membahas tentang pengujian dan analisis sistem dari pelacak cahaya matahari yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Gambar 4.1 merupakan pelacak cahaya matahari yang digunakan dalam penelitian penelitian ini. Pengujian dan analisis bab ini dibagi menjadi berbagai tahap bagian, dengan membahas sub bagian dari perancangan sistem secara keseluruhan disertai tabel dan gambar yang mendukung pengujian dan analisis sistem.

4.1 Realisasi Desain Pelacak Cahaya Matahari

Gambar 4.2 menunjukkan desain secara keseluruhan. Pelacak cahaya matahari ini memiliki panjang, lebar, dan tinggi 60 cm x 60 cm x 75 cm. Bahan utama yang digunakan yaitu besi alumunium kotak, besi alumunium L, dan material teflon. Penggunaan besi alumunium memiliki berat yang ringan dan kuat apabila telah terbentuk secara keseluruhan.

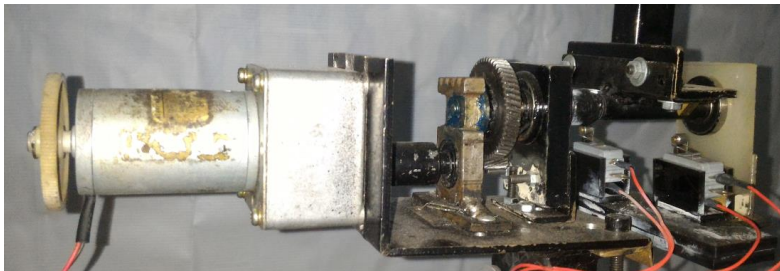


Gambar 4.1 Pelacak cahaya matahari yang diterapkan

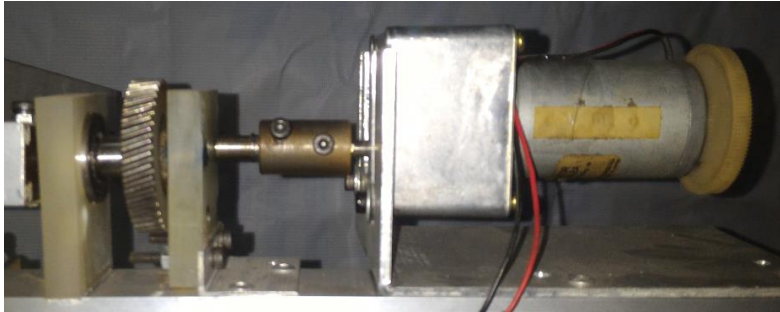


Gambar 4.2 Realisasi keseluruhan

Tahap yang dilakukan pertama kali yaitu pembuatan rangka fondasi berukuran 60 cm x 60 cm yang berasal dari besi alumunium kotak. Pembuatan selanjutnya yaitu tiang utama untuk menopang motor x, di mana motor x ini di letakkan pada dudukan yang terbuat dari lembaran besi alumunium setebal 3 mm yang mana shaft motor x ini disambungkan dengan sambungan shaft pada gigi yang berasal dari bor tangan, dudukan dari gearbox ini terbuat dari teflon. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Realisasi untuk pergerakan sumbu X



Gambar 4.4 Realisasi untuk pergerakan sumbu Y

Setelah proses pembuatan rangka untuk pergerakan sumbu x, langkah selanjutnya yaitu membuat dudukan untuk sumbu y, material tersebut terbuat dari besi aluminum kotak dan besi alumunium L. Langkah pertama yaitu membuat dudukan untuk motor yang terbuat dari lembaran besi alumunium setebal 3 mm. Setelah dudukan tersebut jadi langkah selanjutnya yaitu melakukan pemasangan gigi dengan memanfaatkan teflon sebagai dudukan gigi tersebut. Untuk tempat panel surya terbuat dari material besi alumunium L yang berukuran 67 cm x 54 cm yang disambungkan pada dudukan motor y menggunakan paku rivet. Hasil tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4.

4.2 Pengujian Hardware

Pada pengujian hardware ini dilakukan dengan cara menguji masing-masing komponen (perangkat keras) yang digunakan pada pelacak cahaya matahari, yaitu motor DC dan pengujian filter cahaya.

4.2.1 Pengujian Motor DC

Pada pengujian motor DC dilakukan dengan menyatukan seluruh sistem rangka dari pelacak cahaya matahari. Setelah seluruh komponen mekanik disatukan maka dilakukan pengujian motor DC untuk mengetahui kecepatan motor dan memastikan sistem mekanik yang telah dibuat bekerja dengan baik. Tabel 4.1 merupakan kecepatan rata-rata motor untuk arah putar searah jarum jam, pada motor sumbu x bergerak dengan kecepatan 0.36 rpm sedangkan motor sumbu y bergerak dengan kecepatan 0.34 rpm. Tabel 4.2 merupakan kecepatan rata-rata motor berputar dengan arah berlawanan jarum jam, dari hasil pengujian motor sumbu x berputar dengan kecepatan 0.38 rpm sedangkan motor sumbu y

berputar dengan kecepatan 0.35 rpm. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa sistem mekanik dapat bekerja dengan baik tanpa adanya kesalahan mekanik.

Tabel 4.1 Kecepatan motor arah searah jarum jam

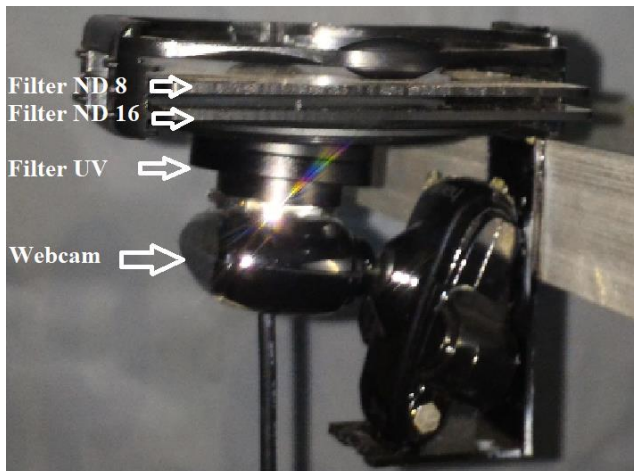
	Kecepatan (rpm)
Motor sumbu X	0.36
Motor sumbu Y	0.34

Tabel 4.2 Kecepatan motor arah berlawanan jarum jam

	Kecepatan (rpm)
Motor sumbu X	0.38
Motor sumbu Y	0.35

4.2.2 Pengujian Filter Cahaya

Pada subbab ini akan dijelaskan hasil pengujian dari filter cahaya meliputi filter UV dan filter ND. Penempatan filter UV dan filter ND

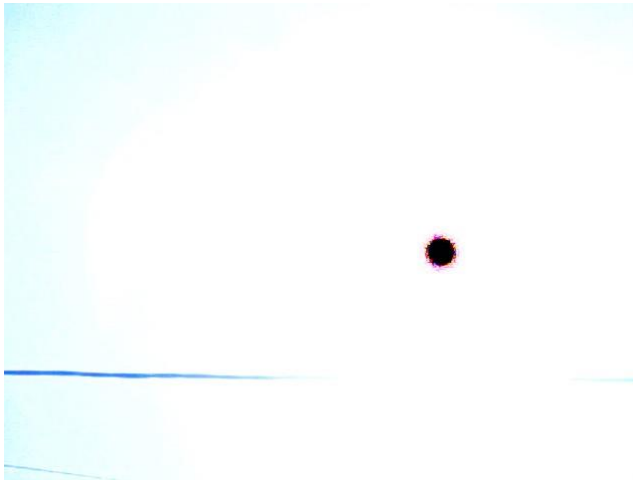


Gambar 4.5 Penempatan filter cahaya pada kamera

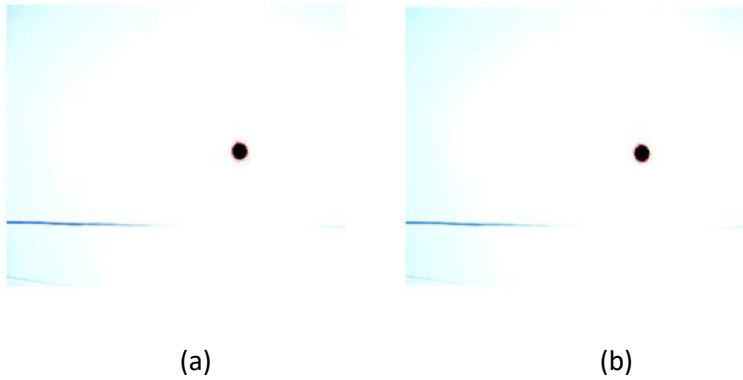
diletakkan di depan kamera seperti pada gambar 4.5. Gambar 4.6 merupakan hasil tangkapan kamera tanpa filter UV dan filter ND, hasilnya terlihat bahwa kamera menangkap terlalu banyak cahaya, sehingga seluruh tangkapan gambar berwarna putih.

4.2.2.1 Pengujian Filter UV

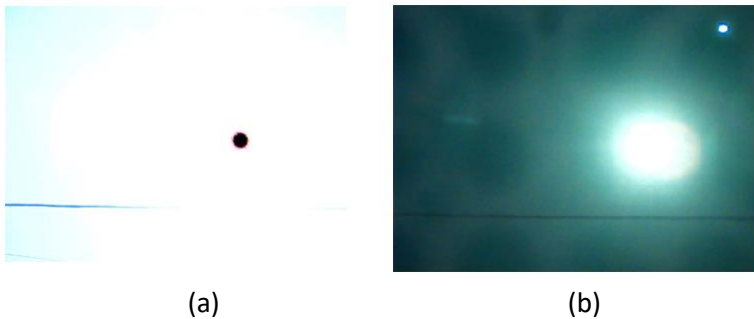
Pemasangan filter UV pada kamera berfungsi untuk melindungi sensor CMOS pada kamera dari radiasi cahaya matahari yang berlebih. Hasil dari filter ini yaitu kamera tahan terhadap paparan cahaya matahari pada waktu yang cukup lama. Pada gambar 4.7 merupakan hasil dari pemakaian filter UV. Terlihat bahwa gambar sebelum diberi filter UV gambar 4.7 (a) dan sesudah diberi filter UV gambar 4.7 (b) tidak berbeda jauh, hasil penggunaan filter UV hanya berpengaruh pada ketahanan sensor pada kamera apabila kamera diarahkan kearah matahari dalam periode yang cukup lama.



Gambar 4.6 Hasil tangkapan gambar matahari tanpa filter



Gambar 4.7 Hasil pengujian filter UV (a) tanpa filter UV (b) dengan filter UV



Gambar 4.8 Hasil pengujian filter ND (a) tanpa filter ND (b) dengan filter ND

4.2.2.2 Pengujian Filter ND

Pemasangan filter ND pada kamera berfungsi untuk mengurangi intensitas cahaya yang masuk ke dalam kamera. Filter ND yang digunakan yaitu ND 8 dan ND 16. Hasil dari penggunaan filter ini seperti pada gambar 4.8 (a) hasilnya sebelum diberikan filter ND cahaya dari matahari terlalu banyak diterima oleh kamera sedangkan setelah diberikan filter ND seperti pada gambar 4.8 (b) terlihat bahwa cahaya matahari

berkurang cukup banyak, sehingga dapat terlihat lingkaran matahari dengan cukup jelas. Apabila terdapat cahaya berlebih maka filter ND akan tetap mengurangi jumlah cahaya yang masuk. Sebagai contoh terdapat 120000 lux cahaya yang diterima, maka dengan menggunakan filter ND 8 dan 16, maka cahaya diloloskan sebesar 12.5 % pada filter ND 8 sehingga jumlah cahaya yang lolos pada filter ini sebesar 15000 lux, setelah itu dilewatkan filter ND 16 maka cahaya yang diloloskan hanya sebesar 6.25 %. Hasil akhir dari filter ND 8 dan 16 ini cahaya yang lolos untuk diterima kamera sebesar 937.5 lux. Jadi apabila terdapat efek saturasi maka tidak akan mempengaruhi pengambilan gambar pada kamera, karena filter ND akan tetap mengurangi jumlah cahaya sesuai spesifikasi filter ND.

4.2.3 Pengujian Konsumsi Daya Sistem Keseluruhan

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian konsumsi daya sistem keseluruhan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya yang digunakan untuk menjalankan sistem ini keseluruhan. Pengujian daya meliputi pengujian pada motor DC sumbu X, motor DC sumbu Y, kipas pendingin, dan *Single Board Computer* Lattepanda. Tabel 4.3 merupakan hasil pengujian dari konsumsi daya sistem keseluruhan.

Tabel 4.3 Konsumsi daya tiap *hardware*

No.	Hardware	Daya (Watt)
1	Motor DC sumbu X	1.63
2	Motor DC sumbu Y	1.52
3	Kipas Pendingin	1.1
4	Lattepanda	5.83

4.3 Pengujian Pengolahan Citra

Pada subbab pengujian pengolahan citra, akan dilakukan pengujian nilai parameter pada pengolahan citra yang digunakan yang nantinya akan dipilih untuk diaplikasikan pada sistem keseluruhan.

4.3.1 Pengujian Nilai Threshold

Pada pengujian nilai *threshold*, yang dilakukan pertama kali yaitu mengambil sampel gambar matahari, sampel diambil sebanyak 10 gambar

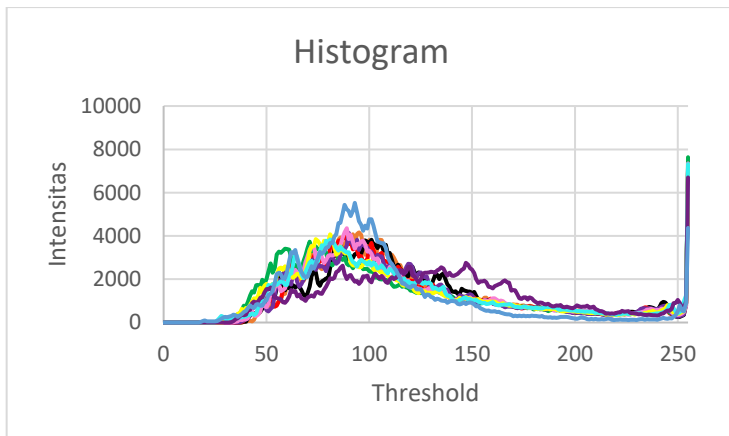
dengan pengambilan gambar di waktu yang berbeda-beda. Setelah di ambil sampel gambar tersebut, 10 gambar tersebut dikonversi menjadi bentuk *grayscale*, gambar grayscale tersebut akan dilihat nilai tiap pikselnya untuk menentukan nilai *threshold* yang dibutuhkan. 10 sampel gambar matahari tersebut dapat dilihat pada lampiran A, sepuluh sampel gambar tersebut memiliki waktu yang berbeda-beda, tabel 4.4 menunjukkan waktu dan kondisi cuaca dari 10 sampel gambar matahari tersebut. Gambar 4.9 merupakan contoh salah satu sampel yang diambil. Sampel diambil dengan menggunakan kamera webcam yang ditambahkan dengan filter neutral density 8 dan 16 (Filter ND) dan filter UV. Setelah mengambil gambar sampel dari waktu yang berbeda-beda, gambar tersebut diolah untuk didapatkan nilai intensitas threshold tiap pikselnya. Nilai yang didapatkan diolah menjadi sebuah histogram seperti pada gambar 4.10.

Tabel 4.4 Sampel dan waktu pengambilan

Sampel Ke	Waktu	Kondisi Cuaca
1	09:17	Cerah
2	10:06	Cerah
3	10:50	Cerah
4	11:43	Cerah
5	11:55	Cerah
6	13:12	Cerah
7	14:08	Cerah
8	15:09	Cerah
9	08:27	Mendung
10	10:03	Mendung

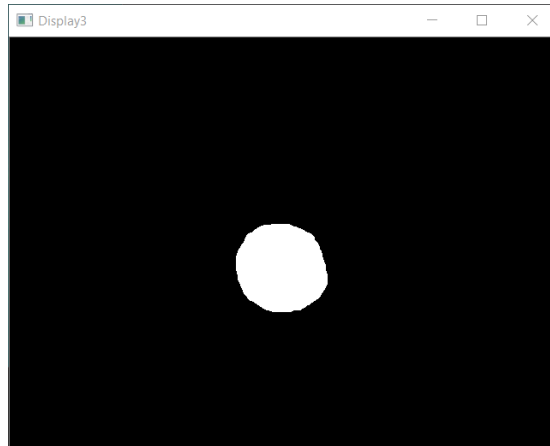


Gambar 4.9 Contoh sampel gambar matahari



Gambar 4.10 Histogram untuk pemilihan nilai threshold

Gambar 4.10 merupakan histogram intensitas cahaya dari 10 buah sampel yang telah diambil. Berdasarkan gambar histogram dapat dilihat bahwa grafik memiliki titik terendah pada nilai sekitar 240 hingga 254. Nilai 240 hingga 254 ini merupakan range nilai threshold yang dapat dipakai untuk membedakan antara matahari dengan langit di sekitarnya. Hasil pemilihan threshold dapat dilihat pada gambar 4.11, dimana nilai threshold dapat



Gambar 4.11 Hasil threshold

memisahkan antara objek dengan background.

4.3.2 Pengujian Parameter Hough Circle Transform

Pada pengujian parameter *hough circle transform*, dipilih parameter-parameter yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan matahari. Parameter dipilih dengan cara pengujian satu persatu parameter hingga memiliki tingkat kesuksesan deteksi matahari yang paling tinggi. Pada tabel 4.5, 4.6, dan 4.7, sukses memiliki arti bahwa nilai parameter tersebut mampu mengetahui posisi matahari, sedangkan gagal memiliki arti nilai parameter tidak mampu untuk mengetahui posisi matahari.

Tabel 4.5 Pemilihan parameter pertama

Sampel	dp = 1 , min. distance = x/4	dp = 2 , min. distance = x/4	dp = 3 , min. distance = x/4	dp = 4 , min. distance = x/4
1	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
2	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
3	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
4	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
5	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
6	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
7	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
8	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
9	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses
10	Gagal	Gagal	Sukses	Sukses

Tabel 4.6 Pemilihan parameter kedua

Sampel	dp = 4 , min. distance = x/2	dp = 4 , min. distance = x/4	dp = 4 , min. distance = x/8	dp = 4 , min. distance = x/16
1	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
2	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
3	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
4	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
5	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
6	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
7	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
8	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
9	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
10	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal

Tabel 4.7 Pemilihan parameter ketiga

Sampel	dp = 3 , min. distance = x/2	dp = 3 , min. distance = x/4	dp = 3 , min. distance = x/8	dp = 3 , min. distance = x/16
1	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
2	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
3	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
4	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
5	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
6	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
7	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
8	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
9	Sukses	Sukses	Sukses	Gagal
10	Sukses	Sukses	Sukses	Sukses

Berdasarkan pengujian tabel 4.5 dilihat bahwa dengan menggunakan nilai minimum distance yang sama dan nilai dp yang berbeda, nilai x merupakan lebar piksel yang digunakan, dapat dilihat hasilnya bahwa nilai dp 3 dan 4 merupakan nilai yang paling cocok untuk digunakan karena memiliki tingkat kesuksesan deteksi matahari yang paling tinggi. Pada tabel 4.6 dengan menggunakan nilai dp 3 dan nilai minimum distance yang berbeda-beda, nilai distance x/4 merupakan nilai yang cocok digunakan karena memiliki tingkat kesuksesan yang paling tinggi. Pada tabel 4.7 dengan menggunakan nilai dp 4 dan nilai minimum distance yang berbeda-beda, nilai distance x/4 merupakan nilai yang cocok digunakan karena memiliki tingkat kesuksesan yang paling tinggi. Dari ketiga tabel tersebut maka dapat dibuat suatu tabel tingkat kesuksesan pengujian parameter seperti tampak pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pemilihan parameter

No.	Dp	Min. Distance	Tingkat Keberhasilan
1	1	lebar piksel / 4	0%
2	2	lebar piksel / 4	0%
3	3	lebar piksel / 4	100%
4	4	lebar piksel / 4	100%
5	4	lebar piksel / 2	100%
6	4	lebar piksel / 8	100%
7	4	lebar piksel / 16	0%
8	3	lebar piksel / 2	100%
9	3	lebar piksel / 8	100%
10	3	lebar piksel / 16	0%

Sehingga pada akhirnya dipilihlah nilai $dp = 4$ dan minimum distance = $x/4$ untuk digunakan pada sistem ini. Dengan pemilihan dp dan minimum distance tersebut, maka didapatkan tingkat keberhasilan melakukan deteksi matahari sebesar 100 % seperti pada tabel 4.8.

4.4 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada pengujian akhir dilakukan pengukuran besaran lux yang diterima oleh panel surya dan daya yang dihasilkan oleh panel surya.

Tabel 4.9 Pengujian penerimaan lux pertama

Waktu	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)
08:30	66200	91200
09:00	73200	117600
09:30	93100	112300
10:00	106000	118200
10:30	100700	117300
11:00	115500	119000
11:30	115400	121000
12:00	116600	125100
12:30	106800	112900
13:00	106000	120500
13:30	94300	122100
14:00	89300	121900
14:30	74500	107600
15:00	70600	105700
15:30	66900	77200

Pengujian dilakukan pada tanggal 19 Mei 2018 dengan kondisi cuaca cerah, 21 Mei 2018 dengan kondisi cuaca mendung, 23 Mei 2018 dengan kondisi cuaca cerah, dan 26 Mei 2018 dengan kondisi cuaca cerah. Empat pengujian tersebut dilakukan perbandingan penerimaan cahaya antara panel surya dengan sistem pelacak yang telah dibuat dengan panel surya

Tabel 4.10 Pengujian penerimaan lux kedua

Waktu	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)
08:30	62400	89600
09:00	41200	44800
09:30	94100	112900
10:00	68700	74700
10:30	49900	55700
11:00	119200	123700
11:30	81000	92000
12:00	93500	104200
12:30	37500	39200
13:00	20600	28800
13:30	28800	17600
14:00	15300	17200
14:30	16100	17500
15:00	13700	15600
15:30	17300	19800

Tabel 4.11 Pengujian penerimaan lux ketiga

Waktu	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)
08:30	78800	116400
09:00	93300	115000
09:30	102900	118600
10:00	110600	118300
10:30	61500	75800
11:00	121100	124800
11:30	118400	122500
12:00	115600	119200
12:30	112400	119500
13:00	107500	118700
13:30	104700	120700
14:00	92200	121300
14:30	80000	114200
15:00	66500	88700
15:30	40900	67200

yang ditempatkan secara tetap atau panel surya statis dengan sudut kemiringan 0°. Dilakukan juga pengujian perbandingan penerimaan cahaya antara panel surya dengan sistem pelacak dengan panel surya statis dengan sudut kemiringan sebesar 30° [23] sesuai dengan perhitungan untuk penentuan posisi kemiringan sesuai posisi matahari pada lintang selatan maupun lintang utara pada lokasi pengujian di kota surabaya, pengujian ini dilakukan pada tanggal 27 Juni 2018 dengan kondisi cuaca cerah. Dari kelima pengujian ini seperti pada tabel 4.9 hingga tabel 4.13, sistem mampu melacak matahari sehingga mampu meningkatkan penerimaan cahaya matahari. Pengujian pada pertama hasilnya terdapat pada tabel 4.9, pada pengukuran nilai pada luxmeter terlihat bahwa

Tabel 4.12 Pengujian penerimaan lux keempat

Waktu	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)
08:30	80500	112600
09:00	86200	114800
09:30	98400	121200
10:00	103500	121500
10:30	110200	119200
11:00	109500	118400
11:30	114400	120400
12:00	113100	122600
12:30	109900	119700
13:00	103200	121200
13:30	91600	111500
14:00	87400	109500
14:30	46000	60100
15:00	13400	17300
15:30	34900	69600

dengan menggunakan sistem pelacak cahaya matahari mampu meningkatkan penerimaan cahaya yang mampu diterima. Pada pengujian kedua hasilnya terdapat pada tabel 4.10, sama seperti pengujian pertama, sistem mampu meningkatkan penerimaan cahaya matahari tetapi memiliki peningkatan penerimaan matahari paling kecil diantara empat pengujian lainnya hal ini dikarenakan kondisi cuaca yang berawan tebal. Pada pengujian ketiga pada tabel 4.11 terlihat pada kondisi cuaca cerah sistem mampu meningkatkan penerimaan cahaya matahari. Begitu pula pengujian keempat pada tabel 4.12 juga mampu meningkatkan penerimaan cahaya matahari.

Tabel 4.13 Pengujian penerimaan lux kelima

Waktu	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)
08:30	97600	114100
09:00	98900	107400
09:30	106000	113900
10:00	116000	122000
10:30	120300	120800
11:00	119200	121400
11:30	119700	120500
12:00	119900	121700
12:30	120400	121600
13:00	119100	120300
13:30	105200	120700
14:00	100700	122100
14:30	86800	117900
15:00	78500	105500
15:30	62200	92800

Tabel 4.13 menunjukkan hasil pengujian kelima, terlihat pada hasil bahwa terdapat kenaikan penerimaan cahaya antara sistem pelacak yang telah dibuat dengan panel surya yang ditempatkan secara statis dengan sudut kemiringan 30 derajat. Setelah mendapatkan data pengujian maka dapat diketahui berapa persen peningkatan penerimaan cahaya matahari dibandingkan tanpa pelacak cahaya matahari atau posisi penempatan panel surya secara tetap.

Tabel 4.14 Hasil penerimaan total lux

Pengujian Ke	Tanpa Pelacak (Lux)	Dengan Pelacak (Lux)	Peningkatan (%)
1	1395100	1689600	21.11 %
2	744800	853300	14.58 %
3	1406400	1660900	18.09 %
4	1302200	1559600	19.76 %
5	1570500	1742700	10.96 %
Total	6419000	7506100	Rata-rata = 16.93 %

Berdasarkan hasil pengujian, maka seperti pada tabel 4.14 didapatkan bahwa pada pengujian pertama terjadi peningkatan penerimaan cahaya matahari sebesar 21.11 %, pada pengujian kedua terjadi peningkatan penerimaan cahaya matahari sebesar 14.58 %, pada pengujian ketiga terjadi peningkatan penerimaan cahaya matahari sebesar 18.09 %, pada pengujian keempat terjadi peningkatan penerimaan cahaya matahari sebesar 19.76 %, dan pengujian kelima terjadi peningkatan penerimaan cahaya sebesar 10.96 %. Sehingga sistem rata-rata mampu meningkatkan sebesar 16.93 %.

Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui peningkatan daya yang diterima oleh panel surya dengan menggunakan set point titik tengah matahari x senilai 320 dan y senilai 240, nilai *set point* ini merupakan nilai optimum karena benar-benar menghasilkan daya yang optimum setelah dilakukan pengujian, dengan nilai toleransi 10 piksel terdapat perbedaan nilai daya hanya sebesar 0.6 %. Pengujian panel surya ini membandingkan panel surya menggunakan pelacak cahaya matahari dengan panel surya statis dengan sudut kemiringan 30 derajat. Panel surya dihubungkan dengan voltmeter serta amperemeter. Kemudian panel surya diberi beban sebuah resistor yang memiliki nilai hambatan sebesar 5.5 ohm. Nilai resistor tersebut dipilih karena paling mendekati nilai beban yang dibutuhkan oleh panel surya sesuai dengan spesifikasi panel surya. Dari proses pengukuran dapat diketahui seberapa besar nilai dayanya yang dihasilkan tiap jam.

Tabel 4.15 Hasil penerimaan daya panel surya statis

No.	Rentan Waktu	Energi Listrik Rata-Rata (Wh)
1	08.31 - 09.30	43.14
2	09.31 - 10.30	52.94
3	10.31 - 11.30	65.05
4	11.31 - 12.30	66.65
5	12.31 - 13.30	58.56
6	13.31 - 14.30	42.15
7	14.31 - 15.30	24.06
Total		352.55

Berdasarkan tabel 4.15 dan 4.16 maka didapatkan efisiensi dari penerimaan daya antara panel surya statis dengan panel surya dengan sistem pelacak. Pada tabel 4.15 merupakan hasil pengujian pada panel surya statis, selama 7 jam pengujian didapatkan energi listrik yang dihasilkan sebesar 352.55 Wh. Pada tabel 4.16 merupakan hasil pengujian pada panel surya dengan menggunakan sistem pelacak cahaya matahari, dari hasil pengujian didapat bahwa setelah dikurangkan dengan energi yang dibutuhkan untuk sistem pelacak (motor DC dan Lattepanda) maka efisiensi energi yang dihasilkan selama 7 jam pengujian sebesar 377.11 Wh. Sehingga setelah dikurangkan dengan hasil energi dari panel surya statis maka terjadi peningkatan efisiensi sebesar 6.97 %.

Tabel 4.16 Hasil penerimaan daya panel surya dengan sistem pelacak

No.	Rentan Waktu	Energi Listrik Rata-Rata (Wh)	Energi yang Digunakan untuk Sistem Pelacak (Wh)	Efisiensi Energi (Wh)
1	08.31 - 09.30	52.39	7.18	45.21
2	09.31 - 10.30	60.49	6.93	53.56
3	10.31 - 11.30	68.45	7.05	61.4
4	11.31 - 12.30	69.48	6.93	62.55
5	12.31 - 13.30	67.98	7.11	60.87
6	13.31 - 14.30	60.5	7.18	53.32
7	14.31 - 15.30	47.5	7.3	40.2
Total		426.79	49.68	377.11

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pelacak cahaya matahari berbasis citra yang telah dibuat pada penelitian kali ini merupakan salah satu metode yang dapat digunakan pada sistem pelacak cahaya matahari untuk panel surya. Dari realisasi dan pengujian alat pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sistem mampu melakukan pelacakan terhadap cahaya matahari. Dari hasil pengujian penerimaan cahaya matahari dengan menggunakan luxmeter dapat disimpulkan bahwa sistem mampu menerima pancaran cahaya matahari dengan nilai lux cukup besar dengan peningkatan rata-rata sebesar 16.93 %. Sedangkan pada pengujian pengukuran daya panel surya, didapatkan bahwa sistem mampu meningkatkan efisiensi pada panel surya sebesar 6.97 %.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini adalah :

1. Pada pengembangan selanjutnya dapat ditambahkan GUI (*Graphical User Interface*) agar mempermudah proses monitoring.
2. Penyempurnaan sistem mekanik pada tiap *gearbox*, sehingga pergerakan dapat lebih halus.
3. Penggantian motor DC yang memiliki torsi besar agar dapat menopang panel surya yang berukuran lebih besar sehingga efisiensi meningkat.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Srinivasarao, P; Reddy, Dr. P. Ravinder; Saheb, K. Baba; "Design and Development of 10 kVa Solar Photovoltaic Cells with Fixed and Tilting Panels", IJEIT, Vol II, Issue 1, Jul 2012
- [2] H. Allamehzadeh, "Solar energy overview and maximizing power output of a solar array using sun trackers," 2016, hlm. 14–19.
- [3] Arturo, Minor M.; Alejandro Garcia P, "High-Precision Solar Tracking Sistem", Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol II, 2010
- [4] S.A. Kalogirou, "Design and construction of a one-axis sun-tracking sistem," Solar Energy, vol 57, pp. 465-469, 1996
- [5] Rahim, R. Abd; Zainudin, M. N. S; Ismail, M. M; Othman, M. A, "Image-based Solar Tracker Using Raspberry Pi", Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), Vol. 1, No. 5, pp. 369 - 373, 2014
- [6] M. Taki, Y. Ajabshirchi, H. Behfar, dan M. Taki, "Experimental investigation and construction of PV solar tracker control system using image processing," *Modern Applied Science*, vol. 5, no. 6, Nov 2011.
- [7] Gerro Prinsloo dan R. Dobson, Solar Tracking, Sun Tracking, Sun Tracker, Solar Tracker, Follow Sun, Sun Position. Free to download eBook on Practical Sun Tracking, 2015.
- [8] Ching-Chuan Wei; Yu-Chang Song; Chuan-Bi Lin; Lawrence Chiang; "Design of a Sun Tracking Sistem Based on the Brightest point in Sky Image", Third International Conference on Computing Measurement Kontrol and Sensor Network, 2016
- [9] Badran, Omar; Arafat, Ismail; "The Enhancement of Solar Distillation using Image Processing and Neural Network Sun Tracking Sistem", International Journal of Mining, Metallurgy & Mechanical Engineering (IJMMME), Vol. 1, No. 3, pp. 208 - 212, 2013

- [10] P. Joshi, D. M. Escrivá, dan V. Godoy, *OpenCV by example: enhance your understanding of Computer Vision and image processing by developing real-world projects in OpenCV 3*. Birmingham Mumbai: Packt Publishing, 2016.
- [11] Rosebrock, Adrian; (2014) *Practical Python and OpenCV An Introductory, Example Driven Guide to Image Processing and Computer Vision*, pyimagesearch
- [12] G. R. Bradski dan A. Kaehler, *Learning OpenCV: computer vision with the OpenCV library*, 1. ed., [Nachdr.]. Beijing: O'Reilly, 2011.
- [13] D. Krisrenanto, M. Rivai, dan F. Budiman, "Identifikasi Jumlah dan Tingkat Aktivitas Orang Berbasis Pengolahan Citra Menggunakan Raspberry Pi," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 1, Mar 2017.
- [14] J. Flusser, S. Farokhi, C. Hoschl, T. Suk, B. Zitova, dan M. Pedone, "Recognition of Images Degraded by Gaussian Blur," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 25, no. 2, hlm. 790–806, Feb 2016.
- [15] U. Acar dan B. Bayram, "Building extraction with morphology," 2009, hlm. 33–38.
- [16] G. Xie dan W. Lu, "Image Edge Detection Based On Opencv," *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, vol. 1, no. 2, hlm. 104–106, 2013.
- [17] R. Laganière, *OpenCV computer vision application programming cookbook: over 50 recipes to help build computer vision applications in C++ using the OpenCV library*, 2. ed. Birmingham: Packt Publ, 2014.
- [18] Kiam Heong Ang, G. Chong, dan Yun Li, "PID kontrol sistem analysis, design, and technology," *IEEE Transactions on Kontrol Sitem Technology*, vol. 13, no. 4, hlm. 559–576, Jul 2005.

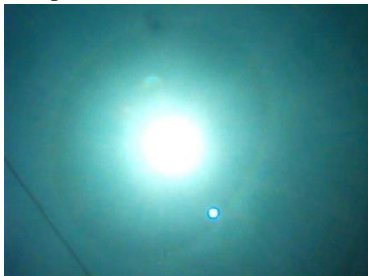
- [19] F. R. Saputra dan M. Rivai, “Autonomous Surface Vehicle sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi Waypoint,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, Mar 2018.
- [20] Gapinski, Andrzej J; “A Servo Sistem: PID Kontrol”, Proceedings of the 2007 IEMS Conference, 2007
- [21] M. S. Ramadhan dan M. Rivai, “Sistem Kontrol Tingkat Kekerusuhan pada Aquarium Menggunakan Arduino Uno,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, Mar 2018.
- [22] A. A. Rahmnan, M. Rivai, dan T. Tasripan, “Sistem Otomatisasi Pelacakan Objek Astronomi Menggunakan Teleskop Berdasarkan Stellarium,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, Sep 2017.
- [23] E. A. Handoyo, D. Ichsani, dan Prabowo, “The Optimal Tilt Angle of a Solar Collector,” *Energy Procedia*, vol. 32, hlm. 166–175, 2013.

.....*Halaman ini sengaja dikosongkan*.....

Lampiran A

10 Sampel Gambar Matahari

Sampel 1 Pukul 09.17



Sampel 4 Pukul 10.06



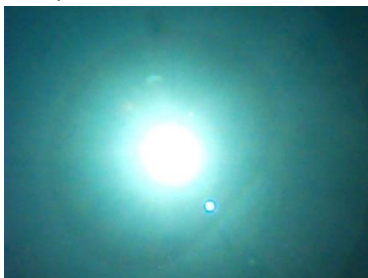
Sampel 2 Pukul 10.50



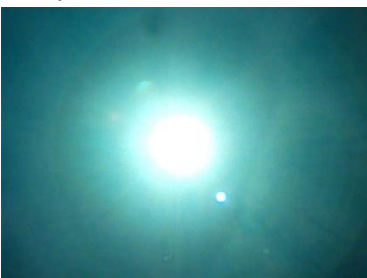
Sampel 5 Pukul 11.43



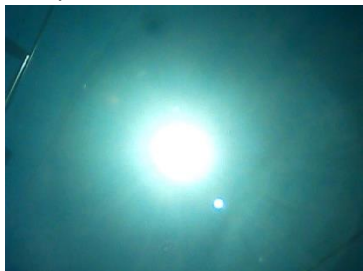
Sampel 3 Pukul 11.55



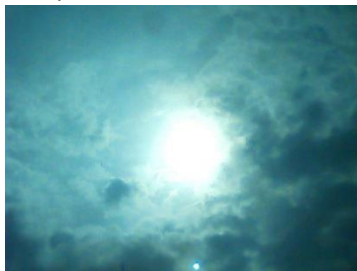
Sampel 6 Pukul 13.12



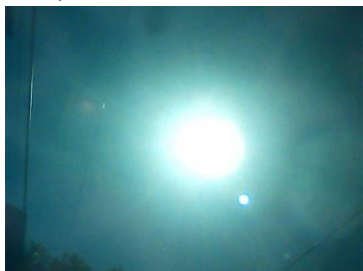
Sampel 7 Pukul 14.08



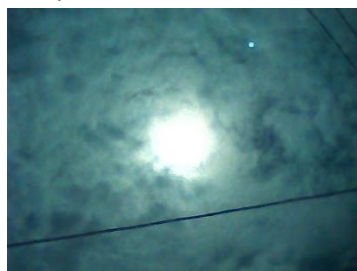
Sampel 8 Pukul 15.09



Sampel 9 Pukul 08.27



Sampel 10 Pukul 10.03



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya pada tanggal 17 Juni 1996. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis memulai pendidikan di SDK Santa Maria Regina Surabaya, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Kristen Petra 5 Surabaya, selanjutnya dilanjutkan di SMA Kristen Petra 5 Surabaya. Lalu penulis melanjutkan pendidikan Teknik Elektro ITS melalui jalur SNMPTN pada tahun 2014. Selama menjalani perkuliahan di ITS, penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan yang diselenggarakan di ITS maupun di luar ITS. Selain itu penulis juga berpartisipasi sebagai asisten praktikum untuk praktikum rangkaian listrik dan rangkaian elektronika dan koordinator laboratorium Elektronika Industri.

Email : fdannes@gmail.com